

TUGAS AKHIR - TM 141585

**PEMODELAN DAN ANALISA REDUKSI RESPON
GETARAN TRANSLASI DAN ROTASI PADA SISTEM
UTAMA OLEH MEKANISME *DYNAMIC VIBRATION*
ABSORBER MODEL *BEAM* DENGAN PENGARUH
POSISI PELETAKAN TERHADAP PUSAT MASSA
SISTEM UTAMA**

VINCENT
NRP 2113 100 165

Dosen Pembimbing
Dr. Wiwiek Hendrowati ST., MT.

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR - TM141585

**PEMODELAN DAN ANALISA REDUKSI RESPON
GETARAN TRANSLASI DAN ROTASI PADA SISTEM
UTAMA OLEH MEKANISME *DYNAMIC VIBRATION*
ABSORBER MODEL *BEAM* DENGAN PENGARUH POSISI
PELETAKAN TERHADAP PUSAT MASSA SISTEM
UTAMA**

VINCENT
NRP 2113 100 165

Dosen Pembimbing :
Dr. Wiwiek Hendrowati ST., MT.

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT - TM141585

**MODELLING AND ANALYSIS OF TRANSLATION AND
ROTATION VIBRATION RESPONSE REDUCTION ON
MAIN SYSTEM BY DYNAMIC VIBRATION ABSORBER
MECHANISM BEAMS MODEL WITH INFLUENCE OF
POSITION ON CENTER GRAVITY OF MAIN SYSTEM**

VINCENT
NRP 2113 100 165

Advisory Lecturer :
Dr. Wiwiek Hendrowati ST., MT.

UNDERGRADUATE PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

**PEMODELAN DAN ANALISA REDUKSI RESPON
GETARAN TRANSLASI DAN ROTASI PADA SISTEM
UTAMA OLEH MEKANISME *DYNAMIC VIBRATION*
ABSORBER MODEL *BEAM* DENGAN PENGARUH
POSISI PELETAKAN TERHADAP PUSAT MASSA
SISTEM UTAMA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

VINCENT

NRP. 2113 100 165

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.
NIP. 197004121997032003
2. Dr Eng. Harus Laksana Guntur, ST, M.Eng
NIP. 197505111999031001
3. Moch. Solichin, ST., MT.
NIP. 198908172015041003
4. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D
NIP. 195106051978031002



SURABAYA

JULI, 2017

**PEMODELAN DAN ANALISA REDUKSI RESPON
GETARAN TRANSLASI DAN ROTASI PADA SISTEM
UTAMA OLEH MEKANISME *DYNAMIC VIBRATION*
ABSORBER MODEL BEAM DENGAN PENGARUH POSISI
PELETAKAN TERHADAP PUSAT MASSA SISTEM
UTAMA**

Nama : Vincent
NRP : 2113100165
Departemen : Teknik Mesin ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

ABSTRAK

Dalam dunia industri, banyak sekali terjadi getaran pada mesin-mesinnya, baik arah translasi maupun rotasi. Getaran ini bersifat destruktif, sehingga dapat menurunkan kinerja mesin bahkan memperpendek usia pakai dari mesin tersebut. Oleh karena itu, getaran harus direduksi seoptimal mungkin. Salah satu cara yang digunakan untuk mereduksi getaran adalah dengan menggunakan dynamic vibration absorber atau yang biasa disebut DVA. DVA ini merupakan metode yang dilakukan dengan cara menambahkan massa dan pegas pada sistem utama. DVA bekerja dengan melawan arah getaran yang dimiliki oleh sistem utama. Pada penelitian-penelitian sebelumnya, DVA terbukti berhasil mereduksi getaran secara signifikan.

Pada penelitian tugas akhir ini, telah dilakukan pemodelan rancang bangun sebuah simulator getaran dalam skala laboratorium yang mampu merepresentasikan getaran yang terjadi pada kondisi real mesin-mesin industri, yaitu getaran arah translasi dan rotasi. Simulator getaran ini berupa plat persegi datar yang ditumpu oleh empat buah pegas dan diberi gaya base motion oleh motor DC sebagai sumber getar. Getaran yang terjadi pada simulator akan diredam oleh sebuah mekanisme DVA. DVA yang dirancang pada penelitian ini menggunakan model beam dengan dimensi panjang yang bervariasi untuk

memvariasikan nilai koefisien pegas, sedangkan lebar dan tinggi memiliki nilai yang tetap. Bentuk DVA ini menyerupai huruf T, dimana beam berfungsi sebagai pegas dengan nilai koefisien kekakuan tertentu yang ditumpu oleh sebuah tiang penyangga dan pada ujung beam diletakkan massa absorber. Variasi-variasi yang dilakukan pada penelitian simulasi ini adalah variasi nilai koefisien kekakuan pegas absorber dengan nilai sebagai berikut : $Ka_1=1/10 \text{ Keq}$; $Ka_2=1/20 \text{ Keq}$; $Ka_3=1/30\text{Keq}$, variasi nilai massa absorber berupa perubahan dimensi dari massa DVA sebagai berikut : $Ma_1=1/10M1$; $Ma_2=1/20M1$; $Ma_3=1/30M1$, dan variasi posisi DVA yang digeser sepanjang satu sumbu dari pusat massa plat datar menuju ujung sisi plat datar sebagai berikut : 0 m, 0,1 m, dan 0,2 m.

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa kombinasi nilai massa absorber yang paling besar, pegas absorber yang paling besar, dan posisi DVA terjauh dapat mereduksi getaran translasi sebesar 99,1% dan getaran arah rotasi sebesar 97,6% ketika sistem bekerja pada frekuensi natural sebesar 36,7 rad/s dan amplitudo 0,03 m. Reduksi optimal getaran arah translasi dan rotasi pada kondisi frekuensi natural dan amplitudo yang sama didapat pada kombinasi nilai massa absorber paling besar, pegas absorber paling besar, dan posisi DVA yang terjauh dari pusat massa sistem utama.

Kata kunci : Dynamic Vibration Absorber (DVA), koefisien pegas absorber, massa absorber, pengaruh posisi DVA, reduksi respon

MODELLING AND ANALYSIS OF TRANSLATION AND ROTATION VIBRATION RESPONSE REDUCTION ON MAIN SYSTEM BY DYNAMIC VIBRATION ABSORBER MECHANISM BEAMS MODEL WITH INFLUENCE OF POSITION ON CENTER GRAVITY OF MAIN SYSTEM

Srudent's Name : Vincent
NRP : 2113100165
Department : Mechanical Engineering
Advisory Lecturer : Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

ABSTRACT

In the industrial world, there is a lot of vibration occurred to its machines, in the direction of translation and rotation. This vibration is destructive, so it can decrease engine performance and even shorten the life of the machines. Therefore, the vibrations must be reduced as optimally as possible. One of the solution that used to reduce vibration is using a dynamic vibration absorber or so-called DVA. This DVA is a mechanism done by adding mass and spring to the main system. DVA works by vibrating against the direction of vibration possessed by the main system. In previous studies, DVA has been shown to significantly reduce vibration.

In this final project, author has modeled the design of a vibration simulator in laboratory scale that represent the vibrations that occur in the real condition of industrial machines, ie vibration of translational and rotational direction. This vibration simulator is a flat square plate supported by four springs and given a base motion force by a DC motor as a vibration source. Vibrations that occur in the simulator will be reduced by DVA mechanism. The DVA designed in this study used beam model of varying dimensions to vary the value of spring coefficients, while the width and height have a fixed value. This DVA shape resembles the letter T, where the beam acts as a

spring with a certain stiffness coefficient value supported by a supporting pole and at the end of the beam is placed by the absorber mass. The variations in this simulation are variation of the coefficient value of the absorber spring stiffness with the following value: $Ka1 = 1/10 \text{ Keq}$; $Ka2 = 1/20 \text{ Keq}$; $Ka3 = 1 / 30\text{Keq}$, the variation of the absorber mass value of the dimensional change of the DVA mass as follows: $Ma1 = 1 / 10M1$; $Ma2 = 1 / 20M1$; $Ma3 = 1 / 30M1$, and the DVA position variation is shifted along one axis from the center gravity of the flat plate mass to the end of the flat plate as follows: 0 m, 0.1 m, and 0.2 m.

From the research that has been done, the result shows that the combination of the largest mass absorber value, absorber spring value, and the furthest DVA position can reduce translational vibration by 99.1% and rotational vibration by 97.6% when the system works on frequency natural equals to 36,7 rad/s and amplitude 0,03 m. The optimal reduction of translational and rotational vibration at the same natural frequency and amplitude is obtained by combining the largest absorber mass value, the largest absorber spring value, and the furthest DVA position from the center gravity of main system.

Keywords : Dynamic Vibration Absorber (DVA), absorber spring coefficient, absorber mass, influence of DVA position, response reduction

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, Tugas Akhir ini yang berjudul “Pemodelan dan Analisa Reduksi Respon Getaran Translasi dan Rotasi Pada Sistem Utama oleh Mekanisme *Dynamic Vibration Absorber* Model *Beam* dengan Pengaruh Posisi Peletakan Terhadap Pusat Massa Sistem Utama ” dapat selesai dengan baik dan lancar.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan persyaratan akademis pada mata kuliah Tugas Akhir pada tahun ajaran 2016-2017, program studi S1 (Strata Satu) untuk Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Tersusunnya Penulisan ini juga karena bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang terlibat, baik secara langsung maupun tidak langsung, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang memberikan bimbingan dan pengarahan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng., Bapak Moch. Solichin, ST., MT., dan Ibu Aida Annisa Amin Daman, ST., MT., selaku dosen penguji yang memberikan kritik, saran dan masukan dari Seminar Proposal Tugas Akhir.
3. Keluarga penulis yang tiada henti menyemangati baik dalam segi materiil dan non materiil.
4. Serta semua pihak yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini: teman-teman Lab. Vibrasi, teman-teman KMK, teman-teman M56, serta seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin, FTI-ITS.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kesalahan dan kekurangan hingga jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangatlah dibutuhkan guna penambahan wawasan, serta keperluan lainnya untuk pengembangan penelitian lebih lanjut. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan pengetahuan yang dapat berguna dan bermanfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BABI PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Getaran	14
2.3 Derajat Kebebasan (<i>Degree of Freedom</i>).....	15
2.4 <i>Free Vibration</i> dan <i>Forced Vibration</i> (Getaran Bebas dan Getaran Paksa)	17
2.5 <i>Base Motion Vibration</i>	17
2.6 <i>Multidegree-of-Freedom Vibration</i>	19
2.7 <i>Dynamic Vibration Absorber</i> (DVA).....	21
2.7.1 <i>Undamped Dynamic Vibration Absorber</i>	21
2.7.2 <i>Damped Dynamic Vibration Absorber</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Flowchart Penelitian	27
3.2 Penjelasan Tahap-Tahap Pengerjaan Penelitian	28
3.2.1 Studi Literatur	28
3.2.2 Identifikasi Masalah.....	29
3.2.3 Perancangan Simulator Getaran dan DVA.....	29

3.2.4	Pemodelan Sistem Dinamis	33
3.2.5	Penurunan Persamaan Gerak	34
3.2.6	Pembuatan Blok Simulasi pada Simulink Matlab.....	38
3.2.7	Simulasi	38
3.2.8	Simulasi Berhasil	39
3.2.9	Reduksi Respon Sistem Utama dan Rasio Massa Utama	39
3.2.10	Analisa Hasil.....	39
3.2.11	Kesimpulan	39
3.3	Penentuan Parameter	40
3.3.1	Menentukan Massa Utama (M_1)	40
3.3.2	Menentukan Koefisien Pegas (k_1 dan k_2)	40
3.3.3	Menentukan Frekuensi Operasi (ωf)	41
3.3.4	Menentukan Koefisien Redaman Pegas (C) dan Rasio Redaman (ζ)	41
3.3.5	Menentukan Massa <i>Absorber</i> (M_a).....	41
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Perancangan Sistem Utama Dan <i>Dynamic Vibration Absorber</i> (DVA)	43
4.1.1	Perancangan Sistem Utama	43
4.1.2	Perancangan <i>Dynamic Vibration Absorber</i> (DVA)..	44
4.2	Parameter yang Divariasikan	47
4.3	Analisa Respon	48
4.3.1	Analisa Respon Sistem Utama Tanpa DVA	48
4.3.2	Analisa Respon Sistem Utama dengan DVA.....	53
4.4	Hasil Eksperimen dan Perbandingannya dengan Simulasi	111
4.4.1	Hasil Eksperimen dengan Variasi Massa <i>Absorber</i> (M_a).....	112
4.4.2	Hasil Eksperimen dengan Variasi Koefisien Pegas <i>Absorber</i> (K_a).....	114
4.4.3	Hasil Eksperimen dengan Variasi Posisi DVA (b) .	116

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	119
5.1 Kesimpulan.....	119
5.2 Saran	120
DAFTAR PUSTAKA.....	123
LAMPIRAN.....	125
BIODATA PENULIS	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pemodelan matematis (a) Mesin tanpa DVA (b) Mesin dengan DVA [1]	5
Gambar 2. 2 Respon getaran mesin tanpa dan dengan DVA [1]...	6
Gambar 2. 3 Model sistem non-DVA, sistem SDVA, dan sistem DDVA [2].....	7
Gambar 2. 4 Grafik respon rms <i>displacement</i> (a) Sistem non-DVA (b) Sistem SDVA (c) Sistem DDVA [2]	7
Gambar 2. 5 Model dinamis sistem (a) tanpa Penambahan <i>Dual DVA-Independent</i> dan (b) dengan Penambahan <i>Dual DVA-Independent</i> [3]	9
Gambar 2. 6 Model matematis sistem yang ditambahkan.....	10
Gambar 2. 7 Grafik respon sistem yang telah ditambahkan dengan <i>Damped Dynamic Vibration Absorber</i> [4]	11
Gambar 2. 8 (a) Tampak asli alat yang digunakan (b) Pemodelan sistem dinamis alat yang digunakan [5]	12
Gambar 2. 9 Persentase reduksi getaran [5]	13
Gambar 2. 10 Perbandingan hasil eksperimen dan hasil simulasi	13
Gambar 2. 11 Sistem Satu DOF [6]	15
Gambar 2. 12 Sistem Dua DOF [6]	15
Gambar 2. 13 Sistem Tiga DOF [6]	16
Gambar 2. 14 Sebuah <i>Beam Cantilever</i> [6].....	16
Gambar 2. 15 Skema <i>Base Motion Vibration</i> [6]	17
Gambar 2. 16 Variasi T_d dan ϕ dengan r [6].....	19
Gambar 2. 17 Sistem Spring-Mass-Damper [6]	19
Gambar 2. 18 <i>Dynamic vibration absorber</i> tanpa damper [6].....	21
Gambar 2. 19 Efek dari DVA tak teredam terhadap respon dari sistem utama [6]	23
Gambar 2. 20 <i>Damped dynamic vibration absorber</i> [6].....	24
Gambar 2. 21 Pengaruh dari <i>Damped vibration absorber</i> terhadap respon dari sistem utama [6]	26
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> penelitian.....	28

Gambar 3. 2 Rancangan simulator getaran dan DVA	29
Gambar 3. 3 Rancangan sistem utama.....	30
Gambar 3. 4 (a) Rancangan <i>assembly</i> DVA (b) Rancangan tumpuan DVA Rancangan pegas DVA.....	31
Gambar 3. 5 Pemodelan sistem dinamis sistem tanpa DVA	33
Gambar 3. 6 Pemodelan sistem dinamis sistem dengan DVA	34
Gambar 3. 7 <i>Free body diagram</i> Sistem Utama Tanpa DVA	34
Gambar 3. 8 <i>Free body diagram</i> Sistem Utama Dengan DVA...	35
Gambar 4. 1 (a) Rancangan sistem utama tampak isometri	43
Gambar 4. 2 (a) Rancangan <i>assembly</i> DVA.....	45
Gambar 4. 3 Pemodelan sistem dinamis sistem utama tanpa DVA.....	49
Gambar 4. 4 <i>Free body diagram</i> sistem utama tanpa DVA	49
Gambar 4. 5 (a) Respon <i>displacement</i> dan (b) Respon <i>angular</i> <i>displacement</i> sistem tanpa DVA	52
Gambar 4. 6 <i>Bode diagram</i> sistem tanpa DVA	52
Gambar 4. 7 (a) Respon <i>acceleration</i> dan (b) Respon <i>angular</i> <i>acceleration</i> sistem tanpa DVA	53
Gambar 4. 8 Pemodelan sistem dinamis sistem utama dengan DVA.....	54
Gambar 4. 9 <i>Free body diagram</i> sistem utama dengan DVA	54
Gambar 4. 10 <i>Bode diagram</i> sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA M_{a1} , K_{a1} , b bervariasi	58
Gambar 4. 11 <i>Bode diagram</i> sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA M_{a1} , K_{a2} , b bervariasi	60
Gambar 4. 12 <i>Bode diagram</i> sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA M_{a1} , K_{a3} , b bervariasi	61
Gambar 4. 13 Respon <i>displacement</i> dengan kombinasi M_{a1} , K_{a1} , dan b bervariasi	63
Gambar 4. 14 Respon <i>acceleration</i> dengan kombinasi M_{a1} , K_{a1} , dan b bervariasi	64
Gambar 4. 15 Grafik persen reduksi RMS <i>acceleration</i> terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas <i>absorber</i> di massa <i>absorber</i> 1 (M_{a1})	66

Gambar 4. 16 Respon <i>angular displacement</i> dengan kombinasi Ma_1 , Ka_1 , dan b bervariasi	68
Gambar 4. 17 Respon <i>angular acceleration</i> dengan kombinasi Ma_1 , Ka_1 , dan b bervariasi	69
Gambar 4. 18 Grafik persen reduksi RMS <i>angular acceleration</i> terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas absorber di massa absorber 1 (Ma_1).....	71
Gambar 4. 19 <i>Bode diagram</i> sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ma_1 , b_1 , Ka bervariasi	73
Gambar 4. 20 <i>Bode diagram</i> sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ma_2 , b_1 , Ka bervariasi	75
Gambar 4. 21 <i>Bode diagram</i> sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ma_3 , b_1 , Ka bervariasi	76
Gambar 4. 22 Perbandingan <i>bode diagram</i> dengan kombinasi Ma_1 , Ma_2 , Ma_3 yang dipasangkan dengan b_1 dan Ka yang bervariasi	77
Gambar 4. 23 Respon <i>displacement</i> dengan kombinasi b_1 , Ma_1 , dan Ka bervariasi.....	79
Gambar 4. 24 Respon <i>acceleration</i> dengan kombinasi b_1 , Ma_1 , dan Ka bervariasi.....	80
Gambar 4. 25 Grafik persen reduksi RMS <i>acceleration</i> terhadap variasi pegas absorber pada tiap massa absorber di posisi DVA 1	81
Gambar 4. 26 Respon <i>angular displacement</i> dengan kombinasi b_1 , Ma_1 , dan Ka bervariasi.....	83
Gambar 4. 27 Respon <i>angular acceleration</i> dengan kombinasi b_1 , Ma_1 , dan Ka bervariasi.....	84
Gambar 4. 28 Grafik persen reduksi RMS <i>angular displacement</i> terhadap variasi pegas absorber pada tiap massa absorber yang digunakan pada posisi DVA 1 (b_1)	86
Gambar 4. 29 <i>Bode diagram</i> sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ka_1 , b_1 , Ma bervariasi	88
Gambar 4. 30 <i>Bode diagram</i> sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ka_1 , b_2 , Ma bervariasi	90

Gambar 4. 31 <i>Bode diagram</i> sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA $Ka1$, $b3$, Ma bervariasi	91
Gambar 4. 32 Respon <i>displacement</i> dengan kombinasi $Ka1$, $b1$, dan Ma bervariasi.....	93
Gambar 4. 33 Grafik persen reduksi RMS <i>displacement</i> terhadap variasi massa <i>absorber</i> pada tiap posisi DVA di pegas <i>absorber 1</i>	96
Gambar 4. 34 Grafik persen reduksi RMS <i>displacement</i> terhadap variasi massa <i>absorber</i> pada tiap posisi DVA di pegas <i>absorber 2</i>	97
Gambar 4. 35 Grafik persen reduksi RMS <i>displacement</i> terhadap variasi massa <i>absorber</i> pada tiap posisi DVA di pegas <i>absorber 3</i>	98
Gambar 4. 36 Respon <i>acceleration</i> dengan kombinasi $Ka1$, $b1$, dan Ma bervariasi.....	99
Gambar 4. 37 Grafik persen reduksi RMS <i>acceleration</i> terhadap variasi massa <i>absorber</i> pada tiap posisi DVA di pegas <i>absorber 1</i>	101
Gambar 4. 38 Respon <i>angular displacement</i> dengan kombinasi $Ka1$, $b1$, dan Ma bervariasi	103
Gambar 4. 39 Grafik persen reduksi RMS <i>angular displacement</i> terhadap variasi massa <i>absorber</i> pada tiap posisi DVA di pegas <i>absorber 1</i>	105
Gambar 4. 40 Grafik persen reduksi RMS <i>angular displacement</i> terhadap variasi massa <i>absorber</i> pada tiap posisi DVA di pegas <i>absorber 2</i>	106
Gambar 4. 41 Grafik persen reduksi RMS <i>angular displacement</i> terhadap variasi massa <i>absorber</i> pada tiap posisi DVA di pegas <i>absorber 3</i>	107
Gambar 4. 42 Respon <i>angular acceleration</i> dengan kombinasi $Ka1$, $b1$, dan Ma bervariasi	108
Gambar 4. 43 Grafik persen reduksi RMS <i>angular acceleration</i> terhadap variasi massa <i>absorber</i> pada tiap posisi DVA di pegas <i>absorber 1</i>	110

Gambar 4. 44 Grafik reduksi respon getaran translasi variasi m dengan k_1 tetap	112
Gambar 4. 45 Grafik Reduksi Respon Getaran Angular variasi m dengan k_1 tetap	113
Gambar 4. 46 Grafik Reduksi Respon Getaran Translasi Variasi k dengan b_3 tetap	114
Gambar 4. 47 Grafik Reduksi Respon Getaran Angular variasi k dengan B_3 tetap	115
Gambar 4. 48 Grafik Reduksi Respon Getaran Translasi variasi b dengan m_1 tetap	116
Gambar 4. 49 Grafik Reduksi Respon Getaran Angular variasi b dengan m_1 tetap	117

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel Variasi Parameter	48
Tabel 4. 2 Data-data RMS <i>acceleration</i> dan persen reduksinya	65
Tabel 4. 3 Data-data RMS <i>angular displacement</i> dan persen reduksinya	70
Tabel 4. 4 Data-data RMS <i>acceleration</i> dan persen reduksinya	80
Tabel 4. 5 Data-data RMS <i>angular acceleration</i> dan persen reduksinya	85
Tabel 4. 6 Data-data RMS <i>displacement</i> dan persen reduksinya	94
Tabel 4. 7 Data-data RMS <i>acceleration</i> dan persen reduksinya	100
Tabel 4. 8 Data-data RMS <i>angular displacement</i> dan persen reduksinya	103
Tabel 4. 9 Data-data RMS <i>angular acceleration</i> dan persen reduksinya	109

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, hampir semua aspek kehidupan manusia tidak terlepas dari getaran. Sebagai contoh : getaran pada kendaraan, getaran pada mesin-mesin industri, getaran pada konstruksi bangunan, dan lain-lain. Pada dasarnya, getaran tersebut bersifat destruktif karena dapat merusak komponen dan mengurangi umur pakai dari kendaraan, mesin-mesin industri, atau konstruksi itu sendiri. Khususnya pada mesin-mesin yang bekerja dalam dunia industri, *bearing* atau bantalan merupakan komponen yang paling mudah mengalami kerusakan akibat getaran. Maka dari itu, getaran yang terjadi harus dikurangi atau direduksi. Salah satu cara untuk mereduksi getaran adalah dengan menggunakan *Dynamic Vibration Absorber* atau yang biasa disebut DVA.

DVA adalah metode peredaman getaran yang dilakukan dengan menambahkan massa dan pegas pada sistem utama. Pada beberapa penelitian terdahulu dengan topik DVA, terbukti getaran dapat direduksi dengan baik pada arah translasi. Namun pada kenyataannya, getaran juga terjadi pada arah rotasi. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang DVA dalam mereduksi getaran arah rotasi. Agar getaran yang terjadi dapat direduksi semaksimal mungkin.

Dalam penelitian simulasi ini akan diteliti rancang mekanisme DVA yang dapat mereduksi getaran berlebih, baik arah translasi maupun rotasi, pada suatu simulator getaran dalam skala laboratorium. Untuk menggambarkan fenomena getaran yang terjadi pada kondisi *real*, dimodelkan sebuah sistem utama simulator getaran berupa plat datar yang ditumpu oleh empat buah pegas dan mendapat gaya *base motion* dari motor DC yang diletakkan di pusat massa plat datar. Untuk menggambarkan getaran pada arah translasi, digunakan pegas dengan nilai koefisien yang sama. Untuk menggambarkan getaran arah rotasi, digunakan dua nilai koefisien pegas yang berbeda.

Pada studi penelitian simulasi ini, akan dititik beratkan pada pemodelan sebuah mekanisme DVA model *beam* yang dapat mereduksi getaran arah translasi maupun rotasi simulator getaran. DVA model *beam*, dirancang berbentuk menyerupai huruf T, dimana *beam* berfungsi sebagai pegas dengan nilai koefisien kekakuan tertentu yang ditumpu oleh sebuah tiang penyangga dan pada kedua ujung *beam* diletakkan massa *absorber*. Variasi yang dilakukan pada simulasi ini adalah variasi nilai koefisien kekakuan pegas *absorber* berupa perubahan panjang dari *beam* DVA, variasi nilai massa *absorber* berupa perubahan dimensi dari massa DVA, dan variasi letak posisi DVA yang digeser sepanjang satu sumbu dari pusat massa plat datar menuju ujung sisi plat datar. Pergeseran posisi DVA dilakukan dengan maksud untuk mereduksi getaran pada arah rotasi. Masing-masing variasi dilakukan sebanyak tiga kali. Hasil yang diharapkan dari simulasi penelitian ini adalah pengaruh dari variasi-variasi tersebut terhadap reduksi respon getaran sistem utama simulator getaran.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, permasalahan yang terjadi adalah memodelkan rancang mekanisme DVA yang dapat mereduksi getaran arah translasi maupun rotasi pada sistem utama. DVA berbentuk menyerupai huruf T terdiri dari massa *absorber*, *beam* sebagai pegas *absorber*, dan tiang penyangga diletakkan pada massa utama (plat datar) simulator getaran yang posisinya divariasikan terhadap pusat massa. Massa utama kemudian diberi gaya *base motion* oleh motor DC sebagai sumber getar. Dari permasalahan tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana memodelkan rancang mekanisme alat simulator getaran yang merepresentasikan getaran arah translasi dan rotasi?
2. Bagaimana memodelkan rancang mekanisme DVA model *beam* yang dapat mereduksi getaran arah translasi ataupun rotasi sistem utama?

3. Bagaimana pengaruh variasi nilai massa *absorber*, nilai koefisien pegas *absorber*, dan letak posisi DVA terhadap reduksi getaran sistem utama?

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi penelitian ini agar tidak mencakup cakupan yang terlalu luas dan memfokuskan penelitian sesuai dengan ruang lingkup seperti pada penjelasan latar belakang di atas, maka dilakukan beberapa pembatasan masalah. Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Gaya eksitasi oleh motor DC dianggap sebagai gaya *base motion*.
2. Getaran yang terjadi pada sistem utama dianggap sinusoidal.
3. Getaran dari luar mekanisme diabaikan.
4. Sumber getaran terletak tepat di bawah *center of gravity* massa utama.
5. Penelitian simulasi ini berfokus pada proses reduksi getaran sistem utama.
6. Gerakan translasi yang diamati hanya ke arah sumbu vertikal (sumbu y) dari massa utama, sementara gerakan arah sumbu horizontal diabaikan.
7. Gerakan rotasi yang diamati hanya 1 arah ke arah θ , sementara gerakan arah rolling diabaikan.
8. Gaya gesek yang terjadi pada semua komponen sistem diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang dan rumusan masalah yang terdapat di atas, maka ditentukan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memodelkan rancang mekanisme alat simulator getaran yang merepresentasikan getaran arah translasi dan rotasi.
2. Memodelkan rancang mekanisme DVA model *beam* yang dapat mereduksi getaran arah translasi ataupun rotasi sistem utama.

3. Mengetahui pengaruh variasi nilai massa *absorber*, nilai koefisien pegas *absorber*, dan letak posisi DVA terhadap reduksi getaran sistem utama.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

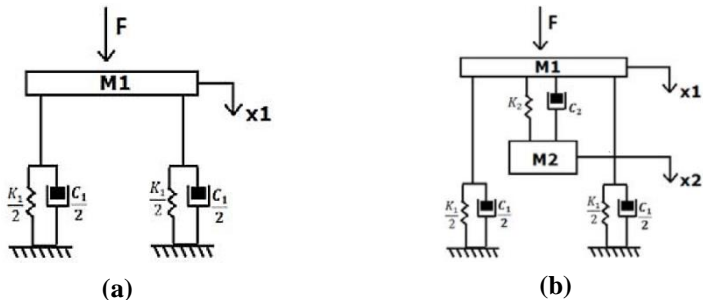
1. Penelitian ini bermanfaat sebagai penerapan ilmu pengetahuan untuk perkembangan teknologi khususnya di bidang industri dalam mereduksi getaran yang berlebih dan dapat diterapkan pada kehidupan nyata.
2. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam memperpanjang usia pakai mesin-mesin yang ada di dunia industri.
3. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dan studi literatur dalam melakukan penelitian selanjutnya mengenai DVA dan variasi-variasinya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

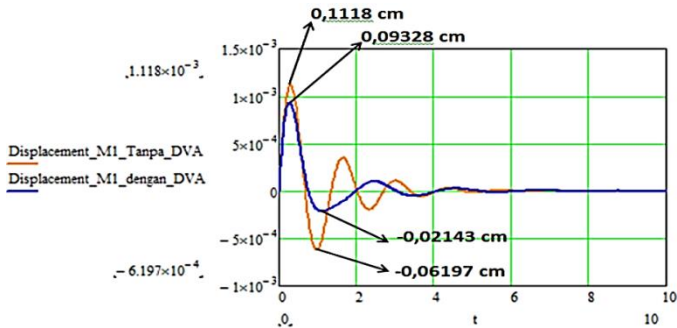
2.1 Penelitian Terdahulu

Pada tahun 2013, Yudhkarisma Fitri dan Yerri Susatio melakukan penelitian mengenai pengaruh DVA terhadap redaman mesin yang mendapat gaya gangguan dari luar. Penelitian dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi antara mesin yang tidak direduksi menggunakan DVA dan mesin yang direduksi menggunakan DVA. Mesin yang tidak direduksi menggunakan DVA dan mesin yang direduksi menggunakan DVA dimodelkan secara dinamis seperti Gambar 2. 1 berikut secara berurutan.



Gambar 2. 1 Pemodelan matematis (a) Mesin tanpa DVA (b) Mesin dengan DVA [1]

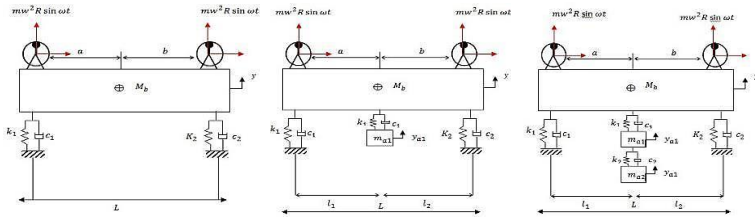
Dari pemodelan dinamis di atas, sistem disimulasikan untuk mendapatkan respon. Respon mesin tanpa DVA dan dengan DVA dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah



Gambar 2. 2 Respon getaran mesin tanpa dan dengan DVA [1]

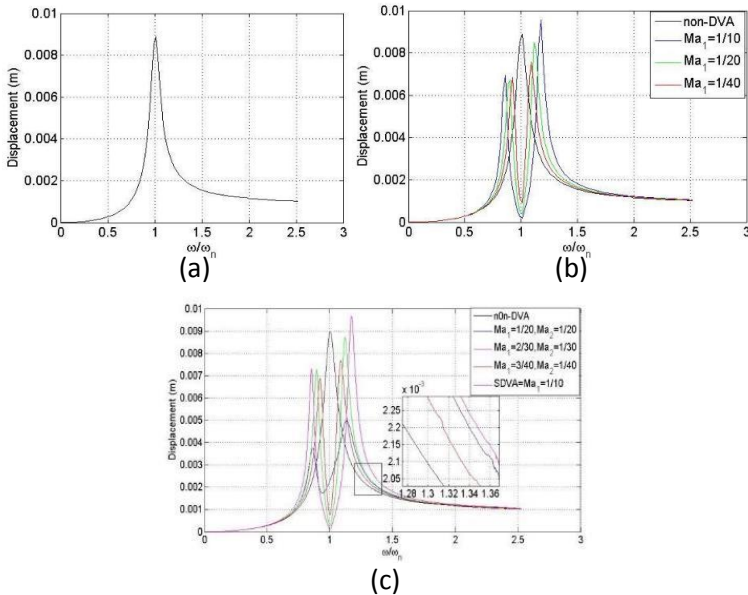
Dari grafik di atas, dapat dilakukan penghitungan sehingga diperoleh hasil bahwa getaran dapat direduksi sebesar 16,5% *maximum overshoot* dan 65,5% *minimum overshoot*.

Pada tahun 2015, Aini Lostari bersama dengan Harus Laksana Guntur dan Wiwiek Hendrowati melakukan penelitian mengenai perbandingan pengaruh reduksi getaran menggunakan metode *Single Dynamic Vibration Absorber* (SDVA) dan *Dual Dynamic Vibration Absorber* (DDVA) terhadap respon getaran yang dihasilkan dari sistem utama. Sistem utama pada penelitian ini menggunakan balok *beam* (Mb) sebagai massa utama dan dihubungkan dengan batang kantilever sebagai pegas dan peredam. Sumber getar dari massa utama didapatkan dari gaya eksitasi akibat massa *unbalance* dari motor yang berputar. Penelitian dilakukan dengan cara mencari respon dari simulasi pemodelan getaran sistem utama tanpa DVA, sistem utama dengan SDVA, dan sistem utama dengan DDVA. Sistem utama tanpa DVA, sistem utama dengan SDVA, dan sistem utama dengan DDVA dimodelkan secara dinamis sebagai berikut, secara berurutan.



Gambar 2. 3 Model sistem non-DVA, sistem SDVA, dan sistem DDVA [2]

Pada proses simulasi, didapatkan respon getaran akibat gaya eksitasi. Respon getaran tersebut berupa rms *displacement* yang dihasilkan oleh sistem. Eksitasi yang digunakan pada pemodelan time respon adalah eksitasi periodik dengan beda fase 0° . Frekuensi eksitasinya bervariasi pada 0 Hz sampai 30 Hz dan juga divariasikan massa *absorber* yaitu 1/10, 1/20, dan 1/40. Dari proses simulasi, diperoleh grafik respon sebagai berikut.



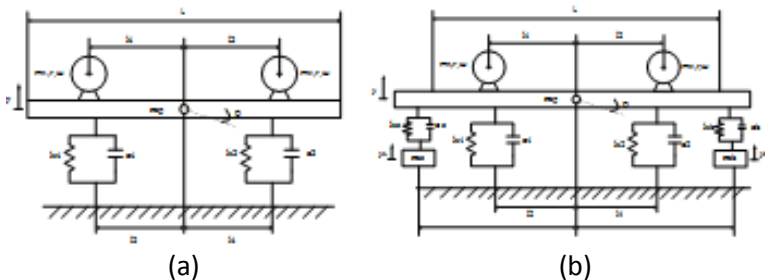
Gambar 2. 4 Grafik respon rms *displacement* (a) Sistem non-DVA (b) Sistem SDVA (c) Sistem DDVA [2]

Terlihat pada Gambar 2.4 (a) bahwa sistem non-DVA menghasilkan getaran yang berlebih pada rasio frekuensi sama dengan 1 dengan rms *displacement* sebesar 0.008291 m. Dalam kondisi rasio frekuensi ini sistem mengalami resonansi. Pada Gambar 2.4 (b) sistem SDVA dengan massa *absorber* 1/10, 1/20 dan 1/40 menghasilkan getaran pada rasio frekuensi sama dengan 1, namun masing-masing massa *absorber* rms *displacement* yang dihasilkan sebesar 0.0001206 m, 0.0002436 m, dan 0.0007506 m, hal ini menunjukkan semakin besar massa *absorber* maka gaya inersia juga semakin besar. Selain itu, hasil simulasi, pemberian massa *absorber* pada pusat massa sistem utama berakibat pada bertambahnya jumlah resonansi dan *displacement* menjadi dua buah. Pada Gambar 2.4 (c) sistem DDVA dengan massa *absorber* $Ma_1=1/20$ dan $Ma_2=1/20$, $Ma_1=2/30$ dan $Ma_2=1/30$, dan $Ma_1=3/40$ dan $Ma_2=1/40$ menghasilkan getaran pada rasio frekuensi sama dengan 1, namun masing-masing massa *absorber* rms *displacement* yang dihasilkan sebesar 0.001484 m, 0.002691 m, dan 0.001343 m. Hal ini terlihat bahwa semakin besar massa maka rms *displacement* semakin kecil, sehingga mampu mereduksi getaran berlebih. Selain itu, hasil simulasi, pemberian massa *absorber* pada pusat massa sistem utama berakibat pada bertambahnya jumlah resonansi dan *displacement* menjadi tiga buah.

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa metode yang paling baik dalam mereduksi getaran adalah SDVA, bukan dengan metode DDVA. Hal ini disebabkan karena pada DDVA, kemampuan massa *absorber* 1 dalam mereduksi getaran berkurang akibat massa *absorber* 2 yang mengurangi kemampuan mereduksi getaran massa *absorber* 1. Pada DVA, getaran massa utama digantikan oleh getaran massa *absorber*. Namun, jika getaran massa *absorber* 1 direduksi oleh massa *absorber* 2, maka reduksi getaran massa utama akan berkurang.

Pada tahun 2015, Esthi Kusumadewayanti dan Harus Laksana Guntur melakukan studi penelitian tentang penggunaan

dual DVA-independent pada sistem utama dalam peredaman getaran arah translasi dan rotasi. Penelitian ini dilakukan dengan cara memasang dua DVA terpisah pada sistem utama. Kedua DVA tersebut diletakkan sejauh panjang lengan momen tertentu dengan posisi simetri terhadap pusat massa sistem utama. Kemudian dipelajari pengaruh massa dan perubahan lengan momen *dual* DVA-independent terhadap respon getaran yang dihasilkan. Untuk mendapatkan respon tersebut, dibuatlah pemodelan dinamis sistem utama tanpa dan dengan *dual* DVA-independent dengan maksud untuk mempermudah penurunan rumus persamaan gerak dari sistem tersebut. Persamaan gerak yang telah diperoleh kemudian diubah menjadi state variable agar memudahkan pembuatan blok simulasi. Setelah itu, simulasi dijalankan, Sistem utama tanpa dan dengan *dual* DVA-independent dimodelkan secara dinamis sebagai berikut, secara berurutan.



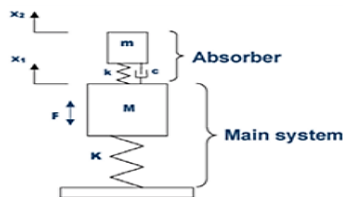
Gambar 2. 5 Model dinamis sistem (a) tanpa Penambahan *Dual DVA-Independent* dan (b) dengan Penambahan *Dual DVA-Independent* [3]

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa *dual DVA-independent* dapat mereduksi getaran sistem maksimum sebesar 93.78% (rasio massa dan konstanta kekakuan 1/20) pada arah translasi dan 94.03% (rasio massa 1/20 dan rasio konstanta kekakuan 1/5) di ujung sistem pada arah rotasi. Penurunan getaran optimum sebesar 72.69% (rasio massa dan konstanta kekakuan 0.01967); 89.44% (rasio massa 1/20 dan rasio konstanta

kekakuan 0.0561); dan 89.75% (massa 1/20 dan rasio konstanta kekakuan 0.0474). Diketahui untuk sistem dengan penambahan DVA, rasio massa yang digunakan adalah 1/80, 1/40 dan 1/20 dari massa sistem, dimana rasio konstanta kekakuan pegas sama dengan rasio massa. Pada setiap rasio massa 10 divariasikan posisi DVA sebesar 0.02 m, 0.13 m dan 0.26 m dengan jarak kedua DVA simetri terhadap pusat sistem.

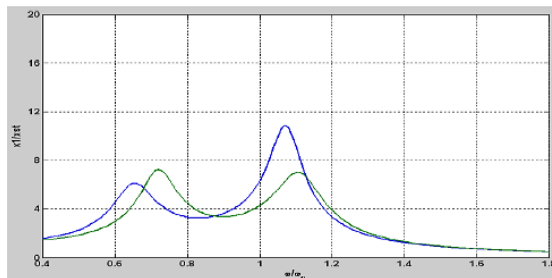
Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa nilai percepatan semakin menurun dengan semakin besar rasio massa *dual* DVA-independent, nilai percepatan sudut semakin menurun dengan semakin besar rasio massa *dual* DVA-independent, nilai percepatan sistem cenderung sama terhadap perubahan jarak *dual* DVA-independent dengan pusat gravitasi, nilai percepatan sudut semakin menurun dengan semakin besar rasio massa *dual* DVA-independent, dan penurunan getaran arah translasi dan rotasi yang sama.

Pada tahun 2016, Pachpute melakukan penelitian dengan judul “*Optimum design of damped dynamic vibration absorber – a simulation approach*”. Pachpute [1] melakukan penelitian melalui simulasi untuk mengetahui respon dari suatu sistem yang dikondisikan dalam keadaan tertentu. Diantaranya adalah sistem tanpa DVA, sistem dengan *damped* DVA dan sistem dengan *undamped* DVA. Gambar 2.6 Model matematis sistem yang ditambahkan *Damped Dynamic Vibration Absorber (DVA)*.



Gambar 2. 6 Model matematis sistem yang ditambahkan *damped Dynamic Vibration Absorber (DVA)* [4]

Adapun model matematis dari *damped* DVA adalah seperti yang terlihat pada gambar diatas. Dalam Gambar 2.6 sebuah sistem tambahan yang terdiri dari pegas (k), peredam (c) dan massa *absorber* (m) dipasangkan pada sistem utama yang memiliki massa (M) dan pegas (K), sehingga getaran yang dimiliki oleh sistem utama dapat dikontrol. Variasi yang digunakan antara lain *mass ratio* (μ), *damping ratio* (ζ) dan *tuning ratio* (f). Pada sistem ini *mass ratio* (μ), *damping ratio* (ζ) dan *tuning ratio* (f) divariasikan untuk mendapatkan nilai optimum reduksi getaran dari sistem utama. Dari hasil percobaan didapatkan sistem yang menghasilkan reduksi maksimal adalah *damped Dynamic Vibration Absorber* (DVA) dengan nilai optimum dari *mass ratio* (μ)= 0.2, *damping ratio* (ζ)=0.125 dan *tuning ratio* (f) = 0.7 sampai 0.8. Hal ini dibuktikan dari plot grafik respon $\left| \frac{X_1}{\delta_{st}} \right|$ terhadap *forced frequency ratio* ($g = \frac{\omega}{\omega_n}$) yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

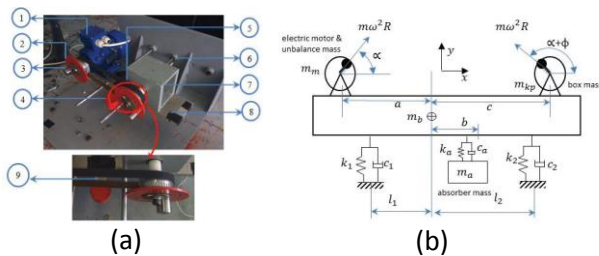


Gambar 2. 7 Grafik respon sistem yang telah ditambahkan dengan *Damped Dynamic Vibration Absorber* [4]

Grafik pada Gambar 2.7 diatas memperlihatkan respon dari sistem yang telah ditambahkan dengan *Damped Dynamic Vibration Absorber*. Garis berwarna hijau menunjukkan respon dari sistem utama, sedangkan garis warna biru menunjukkan respon dari sistem peredam. Dari grafik tersebut didapatkan bahwa semakin besar massa *absorber*, maka jarak yang

memisahkan dua frekuensi natural sistem juga akan semakin besar. Hal tersebut menyebabkan rentang frekuensi operasi yang aman akan semakin lebar. Akan tetapi, massa *absorber* yang besar membuat sistem sangat tidak praktis, terutama jika digunakan pada mesin-mesin industri berdimensi besar. Sehingga diperlukan adanya tambahan peredam agar reduksi getaran dari sistem menjadi efektif saat dioperasikan pada rentang frekuensi operasi yang lebar.

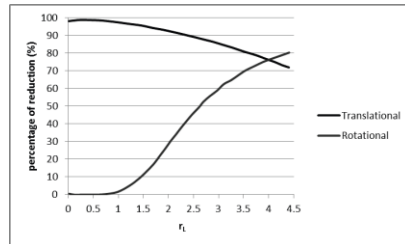
Di tahun yang sama, Aida Annisa Amin Damani bersama dengan Harus Laksana Guntur dan Susastro melakukan penelitian dengan judul “*The Influence of Dynamic Vibration Absorber to Reduce the Vibration of Main System with 2-DoF*”. Penelitian dilakukan melalui simulasi dan eksperimen untuk menganalisa getaran pada sistem utama tanpa DVA dan dengan DVA. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari motor listrik, disk, massa *unbalance*, massa *absorber*, sabuk, cantilever utama, kotak, *beam*, dan cantilever *absorber*. Rasio jarak ($r_L = b/L_1$) divariasikan dengan memindahkan cantilever *absorber*. Frekuensi eksitasi yang digunakan bervariasi dari 0 Hz sampai 30 Hz. Rasio massa *absorber* terhadap sistem yang digunakan bernilai 0,05. Simulasi dilakukan dengan membuat blok diagram dari persamaan *state variabel* yang diperoleh dari *free body diagram* sistem tanpa DVA dan dengan DVA. Berikut adalah tampak asli sistem yang digunakan pada penelitian ini dan pemodelan sistem dinamisnya.



Gambar 2. 8 (a) Tampak asli alat yang digunakan (b) Pemodelan sistem dinamis alat yang digunakan [5]

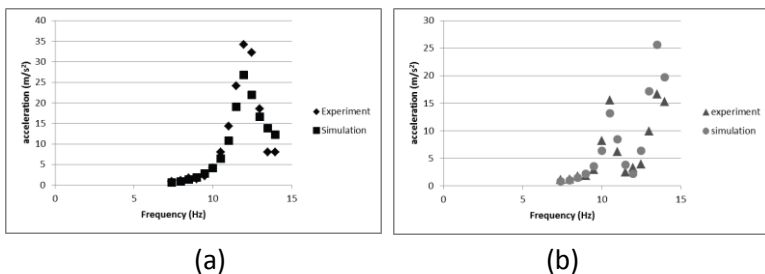
Keterangan :

- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. Motor listrik | 6. Cantilever utama |
| 2. Disk | 7. Kotak |
| 3. Massa <i>unbalance</i> | 8. <i>Beam</i> |
| 4. Massa <i>absorber</i> | 9. Cantilever <i>absorber</i> |
| 5. Sabuk | |



Gambar 2. 9 Persentase reduksi getaran [5]

Dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa pada getaran arah translasi, reduksi getaran menurun seiring bertambahnya rasio jarak (r_L). Reduksi optimum 98,53% terjadi pada $r_L = 0,44$. Dan untuk getaran arah rotasi, reduksi getaran meningkat seiring dengan bertambahnya rasio jarak (r_L). Reduksi optimum untuk getaran arah rotasi (80,41%) terjadi pada $r_L = 4,42$. Sedangkan reduksi optimum untuk kedua arah getaran terjadi pada $r_L = 4$.



Gambar 2. 10 Perbandingan hasil eksperimen dan hasil simulasi
(a) sistem tanpa DVA (b) sistem dengan DVA [5]

Gambar 2.10 merepresentasikan perbandingan hasil eksperimen dan hasil simulasi. Dapat dilihat pada gambar bahwa trend line yang dihasilkan kedua metode tersebut sama. Perbedaan nilai akselerasi yang terjadi pada beberapa frekuensi disebabkan karena adanya eksitasi tambahan dari getaran motor listrik pada metode eksperimen. Getaran dari motor listrik tersebut tidak dimasukkan pada metode simulasi.

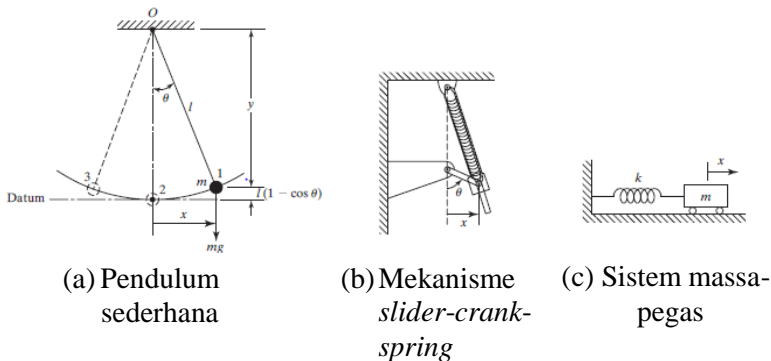
Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan DVA lebih efektif dalam mereduksi getaran arah translasi daripada getaran arah rotasi. Seiring bertambahnya rasio jarak (r_L), maka persentase reduksi getaran pada arah translasi semakin menurun, tetapi persentase reduksi getaran arah rotasi semakin meningkat. Hasil penelitian dengan metode simulasi sangat sesuai dengan hasil penelitian dengan metode eksperimen.

2.2 Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik berulang yang melalui posisi awal, posisi setimbang, dan posisi akhir dengan sendirinya dalam interval waktu tertentu. Getaran biasa disebut juga dengan osilasi. Salah satu contoh getaran adalah gerak ayunan pada pendulum. Sebuah sistem getaran secara umum harus terdiri dari : pegas untuk menyimpan energi potensial, massa atau inersia untuk menyimpan energi kinetik, dan *dampers* untuk menyimpan energi yang hilang. Getaran dari sistem terdiri dari perubahan energi potensial ke energi kinetik dan energi kinetik ke energi potensial, dan seterusnya secara bergantian. Jika sistem damper, maka terdapat energi terdisipasi pada setiap siklus getaran dan harus digantikan oleh gaya eksternal bila ingin mempertahankan getaran tetap menjadi *steady state*. Getaran sendiri terbagi menjadi dua, yaitu getaran bebas (*free vibration*) dan getaran paksa (*forced vibration*). Kedua jenis getaran ini memiliki ciri dan respon masing-masing.

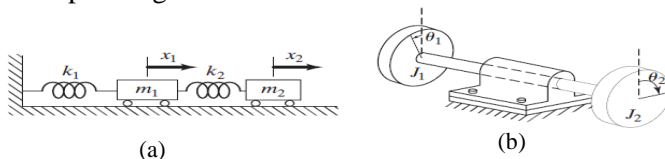
2.3 Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Angka terkecil dari koordinat independen yang dibutuhkan untuk menentukan secara lengkap posisi-posisi dari semua bagian sistem pada setiap increment waktu disebut dengan derajat kebebasan sistem. Sebagai contoh, pendulum sederhana pada gambar 2.11(a), mekanisme *slider-crank-spring* pada gambar 2.11(b), dan sistem massa-pegas pada gambar 2.11(c) adalah representasi dari satu derajat kebebasan.

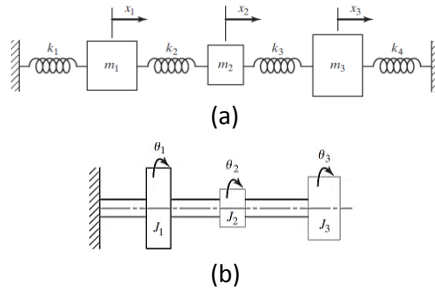


Gambar 2. 11 Sistem Satu DOF [6]

Beberapa contoh sistem dua dan tiga DOF dapat dilihat pada gambar 2.12 dan gambar 2.13 secara berurutan. Gambar 2.12(a) menunjukkan sistem dua massa, dua pegas yang dideskripsikan dengan dua koordinat linear x_1 dan x_2 . Gambar 2.12(b) merupakan sistem dua rotor yang gerakannya dispesifikasikan dengan θ_1 dan θ_2 . Untuk sistem seperti pada gambar 2.13(a) dan gambar 2.13(b), dapat digunakan koordinat x_i ($i = 1, 2, 3$) dan θ_i ($i = 1, 2, 3$) secara berurutan, untuk mendeskripsikan gerakan dari sistem.



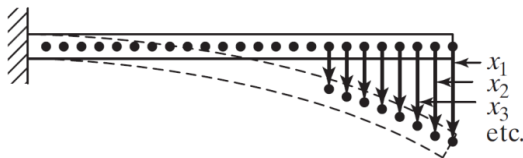
Gambar 2. 12 Sistem Dua DOF [6]



Gambar 2. 13 Sistem Tiga DOF [6]

Banyak sistem dapat dideskripsikan menggunakan sistem dof dengan angka bilangan yang terbatas seperti pada gambar 2.11 hingga gambar 2.13. Namun, pada beberapa kasus seperti bagian-bagian yang elastis, dapat memiliki sistem dof dengan angka bilangan yang tidak terhingga. Sebagai contoh sederhana, *beam cantilever* pada gambar 2.14. Karena *beam* memiliki jumlah titik massa yang tidak terhingga, maka kita membutuhkan bilangan koordinat tidak terhingga untuk mendefinisikan kurva elastisnya. Maka dari itu, *beam* memiliki jumlah dof tidak terhingga.

Sistem dengan jumlah bilangan dof berhingga disebut dengan sistem *discrete* atau *lumped parameter*. Sistem yang memiliki dof dengan jumlah tidak berhingga disebut dengan sistem *continous* atau *distributed*.

Gambar 2. 14 Sebuah *Beam Cantilever* [6]

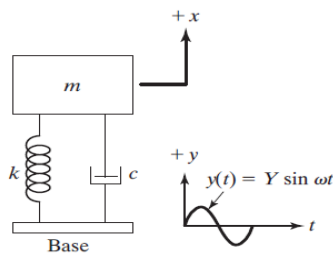
2.4 *Free Vibration* dan *Forced Vibration* (Getaran Bebas dan Getaran Paksa)

Jika sistem, setelah diberi gangguan pertama, dibiarkan bergetar dengan sendirinya, maka getaran yang terjadi disebut dengan getaran bebas (*free vibration*). Tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sistem. Getaran dari pendulum sederhana adalah contoh dari getaran bebas.

Jika sistem dikenai gaya eksternal (sering dan berulang), maka getaran yang terjadi disebut dengan getaran paksa (*forced vibration*). Osilasi yang muncul pada mesin seperti mesin diesel adalah contoh dari getaran paksa. Jika frekuensi gaya eksternal bertepatan dengan salah satu frekuensi natural yang dimiliki oleh sistem, maka terjadi kondisi yang disebut resonansi, dan sistem akan mengalami getaran yang sangat hebat dan berbahaya. Kegagalan pada struktur seperti gedung-gedung, jembatan, turbin, dan sayap pesawat banyak berhubungan dengan fenomena resonansi ini.

2.5 *Base Motion Vibration*

Dasar atau penumpu dari sistem pegas-massa-damper yang mengalami gerakan harmonik disebut dengan getaran *base motion*. Getaran *base motion* dapat dilihat pada gambar 2.15



Gambar 2. 15 Skema *Base Motion Vibration* [6]

Dari skema di atas, maka diperoleh persamaan gerak sebagai berikut

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = ky + c\dot{y} = kY \sin \omega t + c\omega Y \cos \omega t \quad (2.1)$$

dan diperoleh respon *steady-state* massa, $x_p(t)$, yang dapat ditulis sebagai

$$x_p(t) = \frac{Y\sqrt{k^2+(c\omega)^2}}{[(k-m\omega^2)^2+(c\omega)^2]^{\frac{1}{2}}} \sin(\omega t - \phi_1 - \alpha) \quad (2.2)$$

dimana,

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{c\omega}{k-m\omega^2} \right)$$

Dengan menggunakan identitas trigonometri, persamaan (2.2) dapat ditulis ulang sebagai

$$x_p(t) = X \sin(\omega t - \phi) \quad (2.3)$$

dimana X dan ϕ dapat dicari dengan

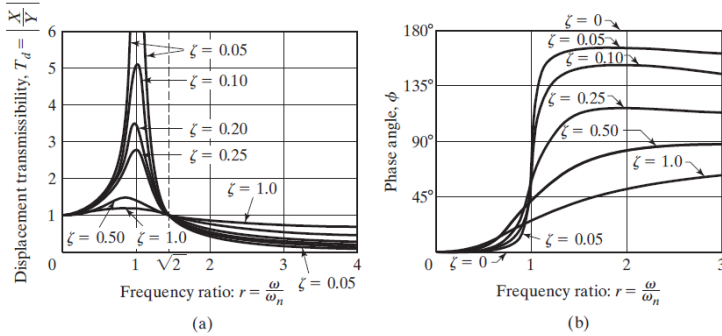
$$\frac{X}{Y} = \left[\frac{k^2+(c\omega)^2}{(k-m\omega^2)^2+(c\omega)^2} \right]^{1/2} \quad (2.4)$$

dan,

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{mc\omega^3}{k(k-m\omega^2)+(\omega c)^2} \right] \quad (2.5)$$

Rasio dari amplitudo yang dimiliki oleh respon $x_p(t)$ terhadap *base motion* $y(t)$, $\frac{X}{Y}$, disebut dengan *displacement transmissibility*.

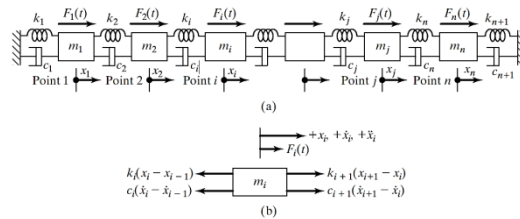
Variasi dari $\frac{X}{Y}$ dan ϕ pada persamaan (2.4) dan (2.5) dapat dilihat pada gambar 2.16



Gambar 2. 16 Variasi T_d dan ϕ dengan r [6]

2.6 Multidegree-of-Freedom Vibration

Salah satu metode yang populer untuk digunakan untuk mengira-ngira sistem kontinu sebagai multidegree-of-freedom dengan mengganti geometri dari sistem dengan sejumlah angka dari elemen kecil. Dengan mengasumsikan solusi sederhana pada tiap elemen, prinsip kecocokkan dan equilibrium digunakan untuk memperkirakan solusi dari sistem original. Salah satu contoh sistem multi-dof dapat dilihat pada Gambar 2.17



Gambar 2. 17 Sistem Spring-Mass-Damper [6]

Dari gambar di atas, akan diperoleh persamaan gerak sebagai berikut

$$m_i \ddot{x}_i - c_i \dot{x}_{i-1} + (c_i + c_{i+1}) \dot{x}_i - c_{i+1} \dot{x}_{i+1} - k_i x_{i-1} + (k_i + k_{i+1}) x_i - k_{i+1} x_{i+1} = F_i; \quad i = 2, 3, \dots, n-1 \quad (2.6)$$

Persamaan di atas dapat digambarkan dengan metode matriks sehingga didapatkan

$$[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = \{F\} \quad (2.7)$$

dengan M mewakili matriks massa, K matriks kekakuan dan C matriks redaman yang mempunyai jumlah baris dan kolom yang sama yaitu n.

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & & 0 \\ & \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_n \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$[c] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & & 0 & 0 \\ & \vdots & & \ddots & \vdots & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -c_n & (c_n + c_{n+1}) \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & & 0 & 0 \\ & \vdots & & \ddots & \vdots & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -k_n & (k_n + k_{n+1}) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

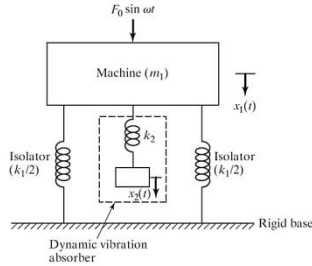
Dan \vec{x} , $\dot{\vec{x}}$, $\ddot{\vec{x}}$, dan \vec{F} adalah vektor perpindahan, kecepatan, percepatan, dan gaya, maka didapatkan

$$\begin{aligned} \vec{x} &= \begin{Bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{Bmatrix}, \quad \dot{\vec{x}} = \begin{Bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{x}_n(t) \end{Bmatrix}, \\ \ddot{\vec{x}} &= \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1(t) \\ \ddot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \ddot{x}_n(t) \end{Bmatrix}, \quad \vec{F} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ \vdots \\ F_n(t) \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (2.11)$$

2.7 Dynamic Vibration Absorber (DVA)

2.7.1 Undamped Dynamic Vibration Absorber

Permodelan sederhana dari sistem utama yang dipasangi DVA tidak teredam dapat dilihat pada Gambar 2.18 dibawah ini.



Gambar 2. 18 *Dynamic vibration absorber* tanpa damper [6]

Free body diagram dari pemodelan gambar 2.18 adalah

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) &= F_0 \sin \omega t \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) &= 0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

dengan mengasumsikan solusi harmonik, maka

$$x_j(t) = X_j \sin \omega t, \quad j = 1, 2$$

sehingga amplitudo *steady state* dari m_1 dan m_2 adalah

$$X_1 = \frac{(k_2 - m_2 \omega^2) F_0}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2} \quad (2.13)$$

$$X_2 = \frac{k_2 F_0}{(k_1 + k_2 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2^2} \quad (2.14)$$

Untuk membuat amplitudo m_1 nol maka *numerator* dari persamaan 2.14 harus sama dengan nol. Persamaannya menjadi

$$\omega^2 = \frac{k_2}{m_2} \quad (2.15)$$

Massa utama tanpa DVA memiliki resonansi natural $\omega^2 \cong \omega_1^2 = k_1/m_1$. Jadi *absorber* didesain agar memiliki frekuensi natural sama dengan frekuensi natural massa utama, sehingga persamaannya menjadi

$$\omega^2 = \frac{k_2}{m_2} = \frac{k_1}{m_1} \quad (2.16)$$

Amplitudo getaran mesin akan nol apabila beroperasi pada frekuensi resonansi dengan mendefinisikan menjadi

$$\delta_{st} = \frac{F_0}{k_1} \omega_1 = \left(\frac{k_1}{m_1} \right)^{1/2}$$

Sebagai frekuensi natural sistem utama, dan

$$\omega_2 = \left(\frac{k_2}{m_2} \right)^{1/2} \quad (2.17)$$

Sebagai frekuensi natural *absorber*. Sehingga persamaan 2.13 dan 2.14 dapat ditulis kembali menjadi

$$\frac{x_1}{\delta_{st}} = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^2}{\left[1 + \frac{k_2}{k_1} \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^2 \right] - \frac{k_2}{k_1}} \quad (2.18)$$

$$\frac{x_2}{\delta_{st}} = \frac{1}{\left[1 + \frac{k_2}{k_1} \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^2 \right] - \frac{k_2}{k_1}} \quad (2.19)$$

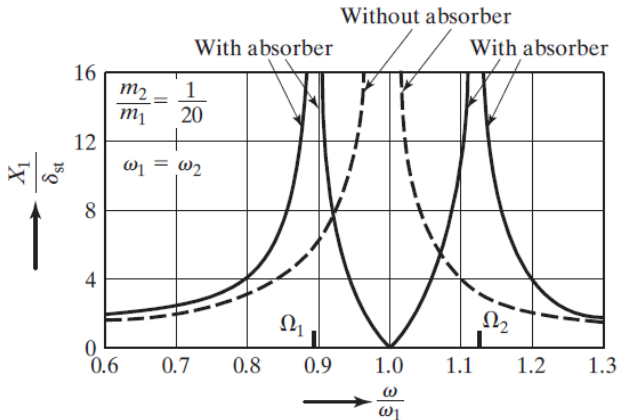
Gambar 2.18 menunjukkan variasi amplitudo getaran (X_1/δ_{st}) dengan kecepatan (ω/ω_1). Dua puncak sesuai dengan dua frekuensi natural dari sistem. Sudah terlihat sebelumnya, $X_1 = 0$ di $\omega = \omega_1$. Pada frekuensi ini, persamaan 2.19 memberikan

$$X_2 = -\frac{k_1}{k_2}\delta_{st} = -\frac{F_0}{k_2} \quad (2.20)$$

Hal ini menunjukkan bahwa gaya pegas berlawanan dengan eksitasi dan mereduksi gaya eksitasi di ($k_2X_2 = -F_0$) dan di netralisasi. Dimensi dari DVA didapatkan melalui persamaan 2.20 dan 2.16 yaitu

$$k_2X_2 = m_2\omega^2X_2 = -F_0 \quad (2.21)$$

Sehingga nilai dari k_2 dan m_2 tergantung dari nilai X_2 yang diperbolehkan



Gambar 2. 19 Efek dari DVA tak teredam terhadap respon dari sistem utama [6]

Pada gambar 2.19 penambahan DVA menghasilkan adanya dua frekuensi natural dari sistem, sehingga terdapat Ω_1 dan Ω_2 dapat diperoleh dengan membuat *denominator* persamaan 2.18 menjadi nol, mengingat bahwa

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{k_2}{k_1} \frac{m_2}{m_1} \frac{m_1}{k_1} = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \quad (2.22)$$

Sehingga persamaan 2.18 menjadi

$$\left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^4 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 - \left(\frac{\omega}{\omega_2} \right)^2 \left[1 + \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right] + 1 = 0 \quad (2.23)$$

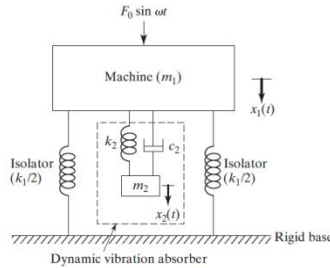
akar persamaan 2.23 adalah

$$\left\{ \left(\frac{\Omega_1}{\omega_2} \right)^2 \right\} = \frac{\left\{ \left[1 + \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right] \mp \left\{ \left[1 + \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right] - 4 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right\}^{1/2} \right\}}{2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2} \quad (2.24)$$

dimana persamaan 2.24 merupakan fungsi dari (m_2/m_1) dan (ω_2/ω_1) .

2.7.2 Damped Dynamic Vibration Absorber

Dynamic Vibration Absorber yang telah dijelaskan sebelumnya selain menghilangkan puncak resonansi pada grafik respon sistem utama, tapi juga menghasilkan dua puncak baru. Sehingga mesin mengalami amplitudo yang besar saat di puncak pertama selama start-up dan stopping. Amplitudo dari sistem utama ini dapat direduksi dengan menambahkan *damped dynamic vibration absorber* seperti yang terlihat pada Gambar 2.20 ini



Gambar 2. 20 *Damped dynamic vibration absorber* [6]

Berdasarkan gambar 2.20 diatas didapatkan persamaa gerak dari massa X_1 dan X_2 adalah sebagai berikut:

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) + c_2 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = F_0 \sin \omega t \quad (2.25)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0 \quad (2.26)$$

dengan mengasumsikan penyelesaian harmonik, maka :

$$x_j(t) = X_j e^{i\omega t}, \quad j=1,2 \quad (2.27)$$

sehingga diperoleh amplitude *steady state* dari X_1 dan X_2 adalah sebagai berikut:

$$X_1 = \frac{F_0 (k_2 - m_2 \omega^2 + i c_2 \omega)}{[(k_1 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - m_2 k_2 \omega^2] + i \omega c_2 (k_1 - m_1 \omega^2 - m_2 \omega^2)} \quad (2.28)$$

$$X_2 = \frac{X_1 (k_2 + i \omega c_2)}{(k_2 - m_2 \omega^2 + i \omega c_2)} \quad (2.29)$$

Dimana :

$\mu = m_2/m_1 = \text{Mass ratio} = \text{Absorber mass/main mass}$

$\delta_{st} = F_0/k_l = \text{Static deflection of the system}$

$\omega_{\alpha^2} = k_2/m_2 = \text{Square of natural frequency of the absorber}$

$\omega_{\alpha^2} = k_1/m_1 = \text{Square of natural frequency of main mass}$

$f = \omega_a/\omega_n = \text{Ratio of natural frequencies}$

$g = \omega/\omega_n = \text{Forced frequency ratio}$

$cc = 2m\omega_n = \text{Critical damping constant}$

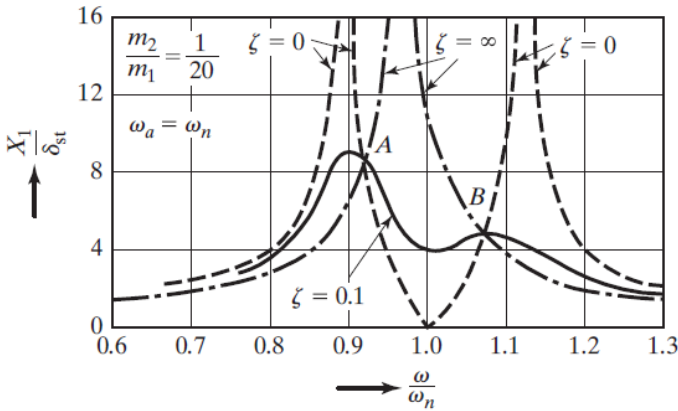
$\zeta = c_2/c_c = \text{Damping ratio}$

Sehingga nilai X_1 dan X_2 dapat dinyatakan dalam:

$$\frac{X_1}{\delta_{st}} = \left[\frac{(2\zeta g)^2 + (g^2 - f^2)^2}{(2\zeta g)^2 (g^2 - 1 + \mu g^2)^2 + \{\mu f^2 g^2 - (g^2 - 1)(g^2 - f^2)\}^2} \right]^2 \quad (2.30)$$

$$\frac{X_2}{\delta_{st}} = \left[\frac{(2\zeta g)^2 + f^4}{(2\zeta g)^2 (g^2 - 1 + \mu g^2)^2 + \{\mu f^2 g^2 - (g^2 - 1)(g^2 - f^2)\}^2} \right]^2 \quad (2.31)$$

Persamaan 2.30 menunjukkan nilai amplitudo getaran dari massa utama yang merupakan fungsi dari μ, f, g dan ζ . Grafik dari $\left| \frac{X_1}{\delta_{st}} \right|$ terhadap *forced frequency ratio* (g) ditunjukkan pada gambar 2.16 dengan nilai $f = 1$, $\mu = \frac{1}{20}$ dan variasi ζ adalah 0, 0.1, dan ∞ .



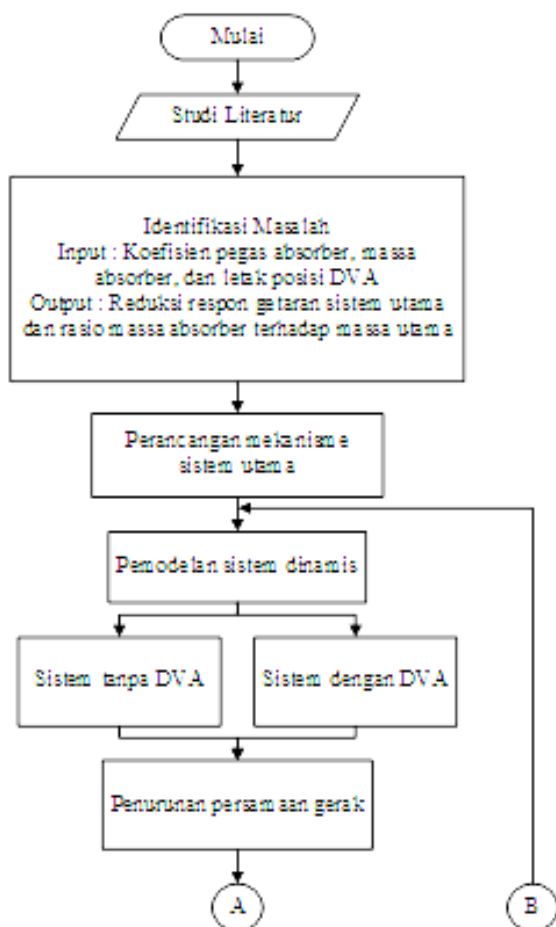
Gambar 2. 21 Pengaruh dari *Damped vibration absorber* terhadap respon dari sistem utama [6]

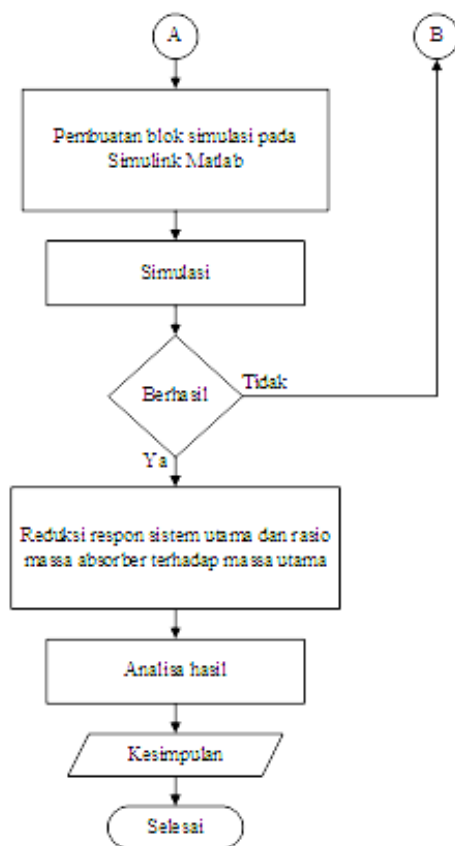
Dari grafik pada gambar 2.21 diatas, diketahui ketika redaman sama dengan nol ($\zeta = 0$), maka resonansi terjadi pada dua frekuensi natural yang tidak teredam dari sistem. Ketika redaman tidak terhingga ($\zeta = 0$), kedua massa utama dan massa *absorber* bekerja bersamaan sehingga seolah-olah sistem menjadi SDOF. Sedangkan saat redaman bernilai tertentu ($\zeta = 0.1$), puncak dari X_1 bernilai minimum.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini digambarkan dalam diagram alir seperti pada gambar 3.1 berikut.





Gambar 3. 1 *Flowchart* penelitian

3.2 Penjelasan Tahap-Tahap Pengerjaan Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

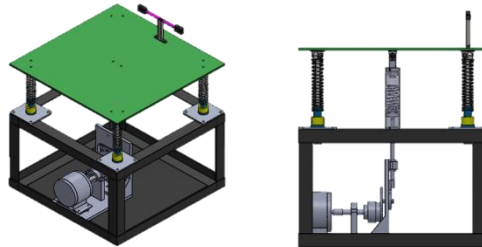
Sebelum melakukan penelitian ini, perlu dilakukan studi literatur dan mencari referensi yang terkait dengan penelitian ini. Materi yang bersangkutan dengan penelitian ini adalah *multi degree-of-freedom*, *dynamic vibration absorber*, dan *base motion vibration*.

3.2.2 Identifikasi Masalah

Pada penelitian ini, masalah diidentifikasi menjadi dua, yaitu *input* dan *output*. *Input* pada penelitian ini adalah koefisien pegas *absorber*, massa *absorber*, dan letak posisi DVA. Sedangkan *output* pada penelitian ini adalah reduksi respon getaran sistem utama dan rasio massa *absorber* terhadap massa utama.

3.2.3 Perancangan Simulator Getaran dan DVA

Simulator getaran dan DVA pada penelitian ini dirancang sedemikian rupa agar dapat mewakili fenomena getaran yang terjadi pada kondisi *real*. Alat tersebut terdiri dari sistem utama yang diberikan gaya oleh sebuah motor DC dan DVA yang nantinya akan mereduksi getaran akibat gaya eksitasi dari motor DC. Untuk lebih jelasnya, *assembly* rancangan alat simulator getaran dan DVA dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah, berikut dengan penjelasan masing-masing komponennya.

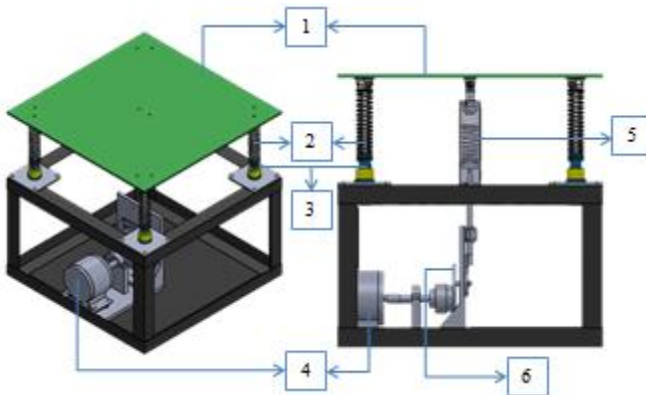


Gambar 3. 2 Rancangan simulator getaran dan DVA

Keterangan:

1. Mekanisme sistem utama
2. DVA model *beam*
3. b = jarak dari pusat massa ke tepi plat

Sistem utama pada penelitian ini terdiri dari sebuah plat datar yang ditumpu oleh empat buah pegas. Keempat pegas ini memiliki dua nilai koefisien yang berbeda sehingga menyebabkan sistem utama dapat bergerak translasi dan rotasi. Pada pusat massanya, plat datar diberi gaya pegas yang dihubungkan dengan mekanisme *scotch yoke* dan *disc* yang memiliki jarak eksentrik tertentu. *Disc* akan digerakkan oleh motor DC.

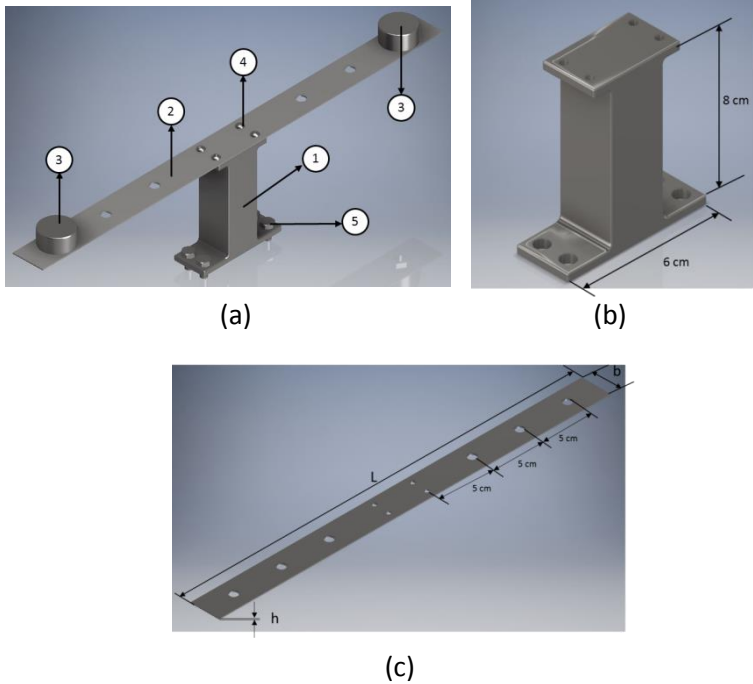


Gambar 3. 3 Rancangan sistem utama

Keterangan :

- | | |
|----------------|----------------------|
| 1. Massa utama | 4. Motor DC |
| 2. Pegas | 5. Pegas eksitasi |
| 3. Damper | 6. <i>Disc</i> motor |

Rancangan mekanisme sistem utama penelitian ini memiliki ukuran dengan dimensi panjang x lebar x tinggi sebagai berikut : 40 cm x 40 cm x 0,5 cm. Untuk mereduksi respon getaran yang terjadi pada sistem utama, maka dirancang alat *dynamic vibration absorber* model *beam* dengan rancangan seperti gambar berikut.



Gambar 3. 4 (a) Rancangan *assembly* DVA (b) Rancangan tumpuan DVA Rancangan pegas DVA

Keterangan :

1. Tumpuan DVA
2. Pegas DVA model *beam*
3. Massa *absorber*
4. Baut m3
5. Baut m6

Beam yang berfungsi sebagai pegas *absorber* dengan nilai kekakuan tertentu merupakan fungsi inersia, panjang, lebar, tebal, dan elastisitas. Atau dapat ditulis sebagai fungsi berikut.

$$k = f (E, I, l, b, h)$$

dimana, pada *beam*, berlaku rumus inersia sebagai berikut.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (3.1)$$

Keterangan :

1. I = nilai inersia
2. b = lebar *beam*
3. h = tebal *beam*

dan untuk menentukan nilai koefisien pegas pada *beam* (k), digunakan rumus sebagai berikut.

$$k_a = \frac{EI}{l^3} \quad (3.2)$$

Keterangan :

1. k_a = nilai koefisien pegas pada *beam*
2. E = modulus elastisitas bahan
3. I = nilai inersia
4. l = panjang *beam*

Dimana, variasi yang dilakukan pada perubahan nilai pegas *absorber* dipengaruhi oleh perubahan panjang dari *beam* itu sendiri. Hal ini terlihat dari persamaan 3.2 yang digunakan untuk mencari nilai k_a .

Untuk menentukan dimensi dari massa *absorber*, maka digunakan rumus *density* sebagai berikut

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.3)$$

Keterangan :

1. ρ = massa jenis bahan
2. m = massa *absorber*
3. v = volume *absorber*

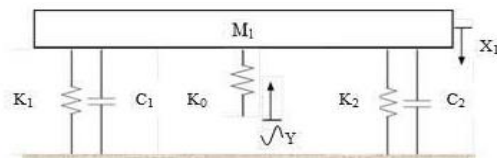
Dari persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3, maka dapat diperoleh dimensi panjang x lebar x tinggi dari massa *absorber* yang berbentuk balok. Dimana, variasi yang dilakukan pada perubahan nilai massa *absorber* berupa perubahan dimensi dari massa *absorber* itu sendiri, yang disesuaikan dengan luas penampang dari *beam* yang digunakan untuk menumpu dan nilai massa jenis dari bahan yang digunakan.

Untuk menentukan dimensi tumpuan *beam* pada DVA, perlu ditinjau terlebih dahulu amplitudo dari massa utama. Hal ini bertujuan agar massa *absorber* pada sistem DVA tidak mengenai plat datar ketika sedang mereduksi getaran. Supaya hasil yang didapat bernilai valid.

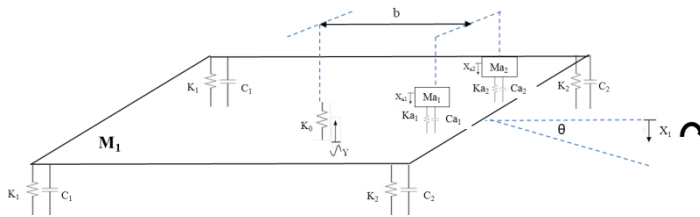
3.2.4 Pemodelan Sistem Dinamis

Pemodelan sistem dinamis dari sistem utama pada penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu sistem utama tanpa DVA dan sistem utama dengan DVA. Pemodelan sistem utama disederhanakan dengan cara menjadikan sumbu y sebagai sumbu observasi sehingga pegas yang menopang massa utama hanya berjumlah dua buah. Ketika sistem utama ditambahkan dengan DVA, maka terdapat tambahan massa dan pegas *absorber* di atas sistem utama.

Gambar di bawah merupakan pemodelan sistem dinamis dari rancangan mekanisme sistem utama.



Gambar 3. 5 Pemodelan sistem dinamis sistem tanpa DVA

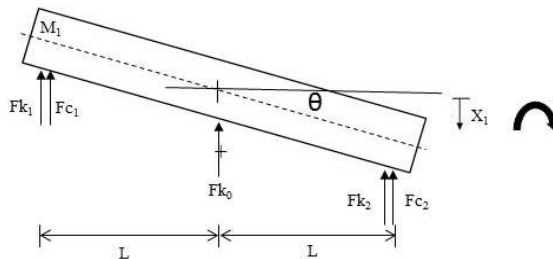


Gambar 3. 6 Pemodelan sistem dinamis sistem dengan DVA

3.2.5 Penurunan Persamaan Gerak

Setelah membuat pemodelan sistem dinamis dari model rancang bangun yang ada, dibuatlah *free body diagram*. Pada *free body diagram* akan digambarkan secara lengkap gaya-gaya yang terjadi pada sistem utama. Dengan menggunakan Hukum Newton, maka dibuatlah persamaan gaya-gaya yang terjadi sehingga menjadi persamaan gerak. Setelah mendapat persamaan gerak pada setiap kondisi yang ada, maka persamaan tersebut diubah menjadi persamaan *state variabel* agar dapat digunakan pada program simulink matlab.

Dari pemodelan sistem dinamis di atas maka diperoleh penurunan persamaan gerak sebagai berikut untuk sistem utama tanpa DVA.



Gambar 3. 7 *Free body diagram* Sistem Utama Tanpa DVA

Keterangan :

F_{k_0} : Gaya harmonik dari massa eksentris (N)

F_{k_1} : Gaya aksi-reaksi dari pegas 1 (N)

- Fk_2 : Gaya aksi-reaksi dari pegas 2 (N)
 Fc_1 : Gaya redaman dari peredam 1 (N)
 Fc_2 : Gaya redaman dari peredam 2 (N)
 Θ : Sudut kemiringan dari sistem utama saat bereksitasi ($^\circ$)
 X_1 : *Displacement* dari massa utama (M1)

Persamaan gerak translasi:

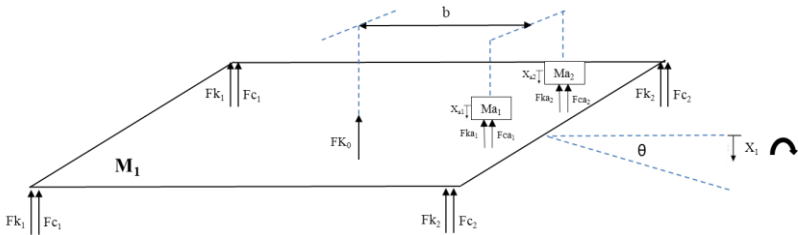
$$\begin{aligned}
 \Sigma F &= M_1 \ddot{x}_1 \\
 -Fk_1 - Fc_1 - Fk_2 - Fc_2 - Fk_0 &= M_1 \ddot{x}_1 \\
 -k_1(x_1 - \theta_1 L) - c_1(\dot{x}_1 - \dot{\theta}_1 L) - k_2(x_1 + \theta_1 L) - c_2(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 L) - k_0(x_1 - y) &= M_1 \ddot{x}_1 \\
 M_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 - k_1 \theta_1 L + c_1 \dot{x}_1 - c_1 \dot{\theta}_1 L + k_2 x_1 + k_2 \theta_1 L + c_2 \dot{x}_1 + c_2 \dot{\theta}_1 L + k_0 x_1 &= k_0 y \\
 M_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 + (k_1 + k_2 + k_0) x_1 + (c_2 L - c_1 L) \dot{\theta}_1 + (k_2 L - k_1 L) \theta_1 &= k_0 y
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Persamaan gerak rotasi:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M &= J_1 \ddot{\theta}_1 \\
 Fk_1(L) + Fc_1(L) - Fk_2(L) - Fc_2(L) &= J_1 \ddot{\theta}_1 \\
 k_1(x_1 - \theta_1 L)(L) + c_1(\dot{x}_1 - \dot{\theta}_1 L)(L) - k_2(x_1 + \theta_1 L)(L) - c_2(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 L)(L) &= J_1 \ddot{\theta}_1 \\
 J_1 \ddot{\theta}_1 - k_1 x_1 L + k_1 \theta_1 L^2 - c_1 \dot{x}_1 L + c_1 \dot{\theta}_1 L^2 + k_2 x_1 L + k_2 \theta_1 L^2 + c_2 \dot{x}_1 L + c_2 \dot{\theta}_1 L^2 &= 0 \\
 J_1 \ddot{\theta}_1 + (c_1 L^2 + c_2 L^2) \dot{\theta}_1 + (k_1 L^2 + k_2 L^2) \theta_1 + (c_2 L - c_1 L) \dot{x}_1 + (k_2 L - k_1 L) x_1 &= 0
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & J_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & c_2 L - c_1 L \\ c_2 L - c_1 L & c_1 L^2 + c_2 L^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_0 & k_2 L - k_1 L \\ k_2 L - k_1 L & k_1 L^2 + k_2 L^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \theta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_0 y \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dari pemodelan sistem dinamis pada gambar 3.6, maka diperoleh penurunan persamaan gerak untuk sistem dengan DVA sebagai berikut.



Gambar 3. 8 *Free body diagram* Sistem Utama Dengan DVA

Keterangan :

Fk_0 : Gaya harmonik dari massa eksentris

Fk_1 : Gaya aksi-reaksi dari pegas 1 (N)

Fk_2 : Gaya aksi-reaksi dari pegas 2 (N)

Fk_a : Gaya aksi-reaksi dari pegas *absorber* (N)

Fc_1 : Gaya redaman dari peredam 1 (N)

Fc_2 : Gaya redaman dari peredam 2 (N)

Fk_a : Gaya redaman dari peredam *absorber* (N)

Θ : Sudut kemiringan dari sistem utama saat bereksitasi ($^\circ$)

X_1 : *Displacement* dari massa utama (M1)

X_a : *Displacement* dari massa utama (Ma)

Persamaan gerak translasi M1:

$$\Sigma F = M_1 \ddot{x}_1$$

$$-Fk_1 - Fc_1 - Fk_0 - Fk_2 - Fc_2 - Fk_{a1} - Fc_{a1} - Fk_{a2} - Fc_{a2} = M_1 \ddot{x}_1$$

$$\begin{aligned} & -k_1(x_1 - \theta_1 L) - c_1(\dot{x}_1 - \dot{\theta}_1 L) - k_0(x_1 - y) - k_2(x_1 + \theta_1 L) - \\ & c_2(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 L) - k_{a1}(x_1 + \theta_1 b - x_{a1}) - c_{a1}(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 b - \dot{x}_{a1}) - k_{a2}(x_1 + \\ & \theta_1 b - x_{a2}) - c_{a2}(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 b - \dot{x}_{a2}) = M_1 \ddot{x}_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & M_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 - k_1 \theta_1 L + c_1 \dot{x}_1 - c_1 \dot{\theta}_1 L + k_0 x_1 + k_2 x_1 + k_2 \theta_1 L + c_2 \dot{x}_1 + \\ & c_2 \dot{\theta}_1 L + k_{a1} x_1 + k_{a1} \theta_1 b - k_{a1} x_{a1} + c_{a1} \dot{x}_1 + c_{a1} \dot{\theta}_1 b - c_{a1} \dot{x}_{a1} + k_{a2} x_1 + \\ & k_{a2} \theta_1 b - k_{a2} x_{a2} + c_{a2} \dot{x}_1 + c_{a2} \dot{\theta}_1 b - c_{a2} \dot{x}_{a2} = k_0 y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & M_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2 + c_{a1} + c_{a2}) \dot{x}_1 + (k_1 + k_2 + k_0 + k_{a1} + k_{a2}) x_1 + (c_2 L - \\ & c_1 L + c_{a1} b + c_{a2} b) \dot{\theta}_1 + (k_2 L - k_1 L + k_{a1} b + k_{a2} b) \theta_1 - c_{a1} \dot{x}_{a1} - k_{a1} x_{a1} - \\ & c_{a2} \dot{x}_{a2} - k_{a2} x_{a2} = k_0 y \end{aligned} \quad (3.6)$$

Persamaan gerak rotasi M1:

$$\Sigma M = J_1 \ddot{\theta}_1$$

$$\begin{aligned} & Fk_1(L) + Fc_1(L) - Fk_2(L) - Fc_2(L) - Fk_{a1}(b) - Fc_{a1}(b) - Fk_{a2}(b) \\ & - Fc_{a2}(b) = J_1 \ddot{\theta}_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& k_1(x_1 - \theta_1 L)(L) + c_1(\dot{x}_1 - \dot{\theta}_1 L)(L) - k_2(x_1 + \theta_1 L)(L) - \\
& c_2(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 L)(L) - k_{a1}(x_1 + \theta_1 b - x_{a1})(b) - c_{a1}(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 b - \\
& \dot{x}_{a1})(b) - k_{a2}(x_1 + \theta_1 b - x_{a2})(b) - c_{a2}(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 b - \dot{x}_{a2})(b) = J_1 \ddot{\theta}_1 \\
& J_1 \ddot{\theta}_1 - k_1 x_1 L + k_1 \theta_1 L^2 - c_1 \dot{x}_1 L + c_1 \dot{\theta}_1 L^2 + k_2 x_1 L + k_2 \theta_1 L^2 + c_2 \dot{x}_1 L + \\
& c_2 \dot{\theta}_1 L^2 + k_{a1} x_1 b + k_{a1} \theta_1 b^2 - k_{a1} x_{a1} b + c_{a1} \dot{x}_1 b + c_{a1} \dot{\theta}_1 b^2 - \\
& c_{a1} \dot{x}_{a1} b + k_{a2} x_1 b + k_{a2} \theta_1 b^2 - k_{a2} x_{a2} b + c_{a2} \dot{x}_1 b + c_{a2} \dot{\theta}_1 b^2 - \\
& c_{a2} \dot{x}_{a2} b = 0 \\
& J_1 \ddot{\theta}_1 + (c_1 L^2 + c_2 L^2 + c_{a1} b^2 + c_{a2} b^2) \dot{\theta}_1 + (k_1 L^2 + k_2 L^2 + k_{a1} b^2 + \\
& k_{a2} b^2) \theta_1 + (c_2 L - c_1 L + c_{a1} b + c_{a2} b) \dot{x}_1 + (k_2 L - k_1 L + k_{a1} b + \\
& k_{a2} b) x_1 - c_{a1} b \dot{x}_{a1} - k_{a1} b x_{a1} - c_{a2} b \dot{x}_{a2} - k_{a2} b x_{a2} = 0 \quad (3.7)
\end{aligned}$$

Persamaan gerak translasi Ma₁:

$$\begin{aligned}
& \Sigma F = M_{a1} \ddot{x}_{a1} \\
& Fk_{a1} + Fc_{a1} = M_{a1} \ddot{x}_{a1} \\
& k_{a1}(x_1 + \theta_1 b - x_{a1}) + c_{a1}(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 b - \dot{x}_{a1}) = M_{a1} \ddot{x}_{a1} \\
& k_{a1} x_1 + k_{a1} \theta_1 b - k_{a1} x_{a1} + c_{a1} \dot{x}_1 + c_{a1} \dot{\theta}_1 b - c_{a1} \dot{x}_{a1} = M_{a1} \ddot{x}_{a1} \\
& M_{a1} \ddot{x}_{a1} + c_{a1} \dot{x}_{a1} + k_{a1} x_{a1} - c_{a1} \dot{x}_1 - k_{a1} x_1 - c_{a1} b \dot{\theta}_1 - k_{a1} b \theta_1 = 0 \quad (3.8)
\end{aligned}$$

Persamaan gerak translasi Ma₂:

$$\begin{aligned}
& \Sigma F = M_{a2} \ddot{x}_{a2} \\
& Fk_{a2} + Fc_{a2} = M_{a2} \ddot{x}_{a2} \\
& k_{a2}(x_1 + \theta_1 b - x_{a2}) + c_{a2}(\dot{x}_1 + \dot{\theta}_1 b - \dot{x}_{a2}) = M_{a2} \ddot{x}_{a2} \\
& k_{a2} x_1 + k_{a2} \theta_1 b - k_{a2} x_{a2} + c_{a2} \dot{x}_1 + c_{a2} \dot{\theta}_1 b - c_{a2} \dot{x}_{a2} = M_{a2} \ddot{x}_{a2} \\
& M_{a2} \ddot{x}_{a2} + c_{a2} \dot{x}_{a2} + k_{a2} x_{a2} - c_{a2} \dot{x}_1 - k_{a2} x_1 - c_{a2} b \dot{\theta}_1 - k_{a2} b \theta_1 = 0 \quad (3.9)
\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_{a1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{a2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_{a1} \\ \ddot{x}_{a2} \\ \ddot{\theta}_1 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + c_{a1} + c_{a2} & -c_{a1} & -c_{a2} & c_2L - c_1L + c_{a1}b + c_{a2}b \\ -c_{a1} & c_{a1} & 0 & -c_{a1}b \\ -c_{a2} & 0 & c_{a2} & -c_{a2}b \\ c_2L - c_1L + c_{a1}b + c_{a2}b & -c_{a1}b & -c_{a2}b & c_1L^2 + c_2L^2 + c_{a1}b^2 + c_{a2}b^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_{a1} \\ \dot{x}_{a2} \\ \dot{\theta}_1 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_0 + k_{a1} + k_{a2} & -k_{a1} & -k_{a2} & k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b \\ -k_{a1} & k_{a1} & 0 & -k_{a1}b \\ -k_{a2} & 0 & k_{a2} & -k_{a2}b \\ k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b & -k_{a1}b & -k_{a2}b & k_1L^2 + k_2L^2 + k_{a1}b^2 + k_{a2}b^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_{a1} \\ x_{a2} \\ \theta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_0y \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

3.2.6 Pembuatan Blok Simulasi pada Simulink Matlab

Persamaan *state variabel* yang telah didapat dari persamaan gerak pemodelan sistem dinamis, diubah ke dalam blok-blok diagram simulasi yang terdapat pada *software* simulink matlab. *Software* ini digunakan untuk mendapatkan penyelesaian dari persamaan matematis yang telah didapat. Hasil dari *software* ini berupa respon sistem utama pada setiap kondisi. Baik yang tanpa DVA atau dengan DVA, sesuai dengan persamaan yang digunakan.

3.2.7 Simulasi

Pada pemodelan sistem utama dengan DVA, proses simulasi dimulai dengan memberi *input* berupa gaya sinusoidal (harmonik) pada sistem utama. *Output* yang didapat berupa *displacement* (x_1) dan sudut kemiringan (θ) pada massa utama yang akan menjadi *input* pada sistem *absorber*. Pada sistem *absorber*, *output* yang didapat berupa *displacement* (x_2) pada massa *absorber*.

Sedangkan proses simulasi pada pemodelan sistem utama tanpa DVA, dimulai dengan memberi *input* berupa gaya sinusoidal (harmonik) pada sistem utama. *Output* yang didapat berupa *displacement* (x_1) dan sudut kemiringan (θ) pada massa

utama. Sehingga dari kedua pemodelan tersebut didapat reduksi respon sistem utama.

3.2.8 Simulasi Berhasil

Setelah membuat blok diagram dan menyelesaikan parameter sistem pada *software* Simulink, simulasi dijalankan. Bila tidak terdapat kesalahan yang muncul pada saat proses menjalankan simulasi, proses dilanjutkan dengan memasukkan variasi-variasi pada penelitian ini. Variasi yang dimasukkan adalah nilai koefisien pegas *absorber*, massa *absorber*, dan letak posisi DVA. Namun, bila simulasi tidak berhasil dijalankan, maka dilakukan pengecekan ulang dan pembenahan dari langkah “pemodelan sistem dinamis” hingga ke langkah “simulasi”.

3.2.9 Reduksi Respon Sistem Utama dan Rasio Massa Utama

Setelah simulasi berikut dengan variasinya dijalankan, maka akan didapat nilai reduksi respon sistem utama. Hasil ini kemudian diolah menjadi grafik respon terhadap variasi. Total akan didapat sembilan grafik yang akan dibuat, yaitu grafik reduksi respon sistem utama terhadap koefisien pegas *absorber*, massa *absorber*, dan letak posisi DVA.

3.2.10 Analisa Hasil

Dari sembilan grafik yang didapat, akan dilakukan analisa bagaimana reduksi respon sistem utama dan rasio massa *absorber* terhadap massa utama yang dihasilkan oleh setiap variasi. Hasil analisa tersebut kemudian akan dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang menggunakan *single* dan *dual* DVA tanpa diubah letak posisinya untuk mereduksi getaran dari sistem utama. Selain itu, hasil analisa tersebut juga akan digunakan sebagai acuan penelitian sejenis yang dilakukan dengan metode eksperimen.

3.2.11 Kesimpulan

Dari analisa hasil penelitian yang telah dilakukan, maka ditarik kesimpulan dan saran agar penelitian selanjutnya dapat

dilakukan dengan lebih baik. Sehingga akan menghasilkan hasil yang lebih baik.

3.3 Penentuan Parameter

Sebelum melakukan proses simulasi, perlu diketahui terlebih dahulu parameter yang akan digunakan. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi massa, panjang, koefisien pegas, dan koefisien redaman. Nilai massa diperoleh dengan menimbang massa utama menggunakan timbangan digital. Nilai panjang diperoleh dengan mengukur panjang massa atau alat menggunakan mistar. Nilai koefisien pegas diperoleh dari hasil pengujian dengan memberikan gaya tekan pada pegas dan *displacement* yang didapat. Parameter-parameter lainnya yang dibutuhkan akan dijelaskan dan ditentukan secara rinci pada penjelasan di bawah.

3.3.1 Menentukan Massa Utama (M_1)

Massa utama diperoleh dari hasil pengukuran berat plat aluminium dengan dimensi panjang x lebar x tinggi : 50 cm x 50 cm x 0,5 cm.

3.3.2 Menentukan Koefisien Pegas (k_1 dan k_2)

Pegas yang digunakan pada penelitian ini adalah pegas yang memiliki nilai koefisien sesuai yang telah ditentukan. Penentuan nilai koefisien dilakukan dengan melakukan penentuan nilai defleksi statis (δ_{st}) terlebih dahulu. Kemudian, nilai tersebut dimasukkan ke dalam Hukum Hooke

$$F = k \cdot \delta_{st} \quad (3.10)$$

Dengan gaya berat massa utama (F) yang telah ditentukan, maka nilai koefisien pegas (k) akan diperoleh.

3.3.3 Menentukan Frekuensi Operasi (ω_f)

Frekuensi operasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sama dengan frekuensi natural dari sistem. Frekuensi natural dapat diperoleh dengan menggunakan rumus

$$\omega_f = \omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}} \quad (3.11)$$

Frekuensi operasi sengaja dipilih sama dengan frekuensi natural agar terjadi efek resonansi, dimana amplitudo yang dihasilkan mencapai nilai maksimal. Hal ini ditujukan agar dapat mengetahui respon redaman yang dihasilkan DVA pada kondisi resonansi dalam penelitian ini.

3.3.4 Menentukan Koefisien Redaman Pegas (C) dan Rasio Redaman (ζ)

Pada penelitian simulasi ini, koefisien redaman mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Wahyu Rachma pada tahun 2016 [7]. Pada penelitian tersebut, digunakan asumsi koefisien redaman (C) sebesar 0,1 dan rasio redaman (ζ) sebesar 0,2.

3.3.5 Menentukan Massa Absorber (M_a)

Berdasarkan teori tentang *vibration absorber* yang terdapat di buku “*Mechanical Vibration*” karangan S. Rao dan penelitian-penelitian terdahulu, maka diperoleh rasio perbandingan massa *absorber* terhadap massa utama yang optimal sebagai berikut

$$M_a = \frac{1}{20} M_1$$

Di samping itu, akan dilakukan variasi dengan rasio massa *absorber* terhadap massa utama sebesar 1/10 dan 1/30. Untuk mendapat massa *absorber* sesuai yang diharapkan, maka

dimensi panjang x lebar x tinggi dari massa *absorber* dapat disesuaikan dengan luas penampang dari *beam* yang digunakan untuk menumpu dan nilai massa jenis dari bahan yang digunakan.

3.3.6 Menentukan Koefisien Pegas *Absorber* (k_a)

Berdasarkan teori tentang *vibration absorber* yang terdapat di buku “*Mechanical Vibration*” karangan S. Rao dan penelitian-penelitian terdahulu, maka diperoleh rasio perbandingan pegas *absorber* terhadap pegas sistem utama yang optimal sebagai berikut

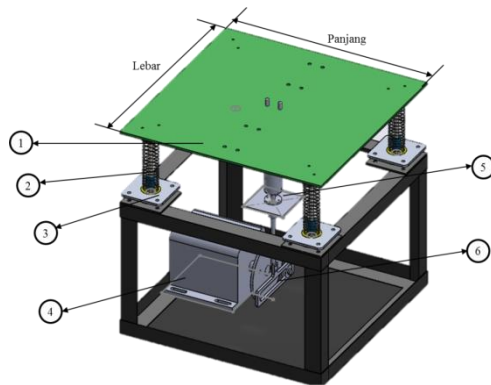
$$k_a = \frac{1}{20} (k_{eq})$$

Hal ini didasarkan pada frekuensi natural sistem utama. Dimana, frekuensi DVA yang digunakan sama dengan frekuensi natural sistem utama. Sehingga perbandingnya massa *absorber* dan koefisien pegas *absorber* terhadap massa dan koefisien pegas *equivalent* sistem utama bernilai sama. Maka, bila nilai dari massa *absorber* berubah, nilai koefisien pegas *absorber* juga akan berubah menyesuaikan nilai massa *absorber*. Untuk itu, akan dilakukan variasi dengan rasio pegas *absorber* terhadap pegas *equivalent* sebesar 1/10 dan 1/30. Agar mendapat nilai pegas *absorber* sesuai yang diharapkan, maka dimensi panjang dari pegas *absorber* dapat disesuaikan dengan nilai modulus elastisitas bahan yang digunakan dan inersia dari *beam* itu sendiri.

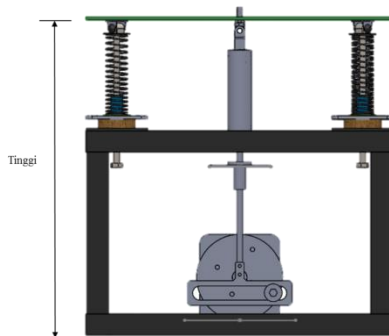
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Sistem Utama Dan *Dynamic Vibration Absorber (DVA)*

4.1.1 Perancangan Sistem Utama



(a)



(b)

Gambar 4. 1 (a) Rancangan sistem utama tampak isometri
(b) Rancangan sistem utama tampak belakang

Dalam penelitian ini, telah dirancang sebuah sistem utama alat simulator getaran arah translasi dan rotasi yang dapat mewakili fenomena getaran pada kondisi nyata di mesin-mesin industri. Simulator getaran ini terdiri dari massa utama, pegas penumpu, dan motor DC. Berikut adalah gambar simulator getaran yang digunakan dalam penelitian ini.

Keterangan :

- | | | |
|------------------|-------------|--------------------|
| 1. Massa utama | 3. Penumpu | 5. Pegas eksentris |
| 2. Pegas penumpu | 4. Motor DC | 6. Massa eksentris |

Berikut adalah spesifikasi dari sistem utama yang digunakan pada penelitian ini :

Massa utama (M_1) = 7 kg

K_1 = 3311,24 N/m

K_2 = 1897 N/m

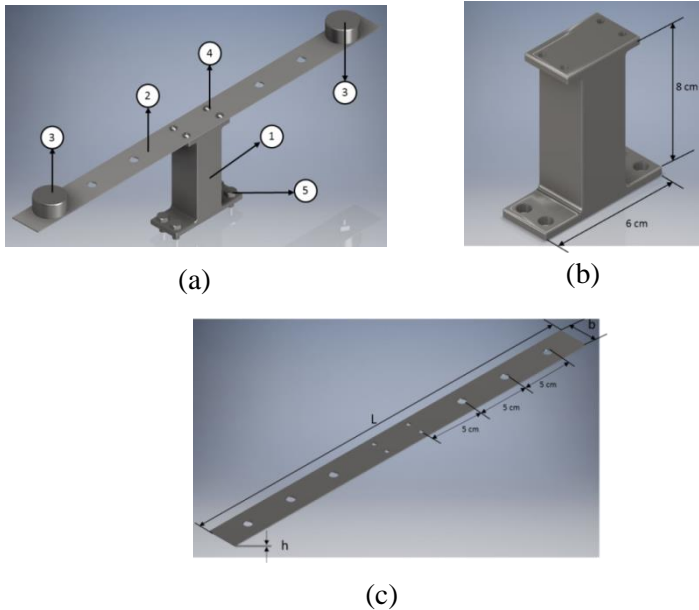
Kekivalen = $(2 \times (K_1 + K_2)) = (2 \times (3311,24 + 1897))$
 = 10.416,48 N/m

Cara kerja : Massa utama berupa plat datar dengan material aluminium dan berdimensi 50 cm x 50 cm x 0,5 cm serta berat 7 kilogram ditumpu oleh 4 buah pegas dengan 2 buah pegas di sisi kiri masing-masing memiliki koefisien sebesar 3311,24 N/m dan 2 buah pegas di sisi kanan dengan koefisien sebesar 1897 N/m. Plat tersebut kemudian dihubungkan pada sebuah pegas penunjuk di pusat massanya yang akan memberikan gaya eksitasi dari motor. Perbedaan nilai pegas ekivalen kiri dan kanan akan menyebabkan getaran tidak hanya terjadi pada arah translasi, tapi juga rotasi. Kemudian getaran yang terjadi akan diredam oleh DVA yang dirancang seperti di bawah ini.

4.1.2 Perancangan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA)

Untuk mereduksi getaran yang terjadi pada penelitian ini, telah dirancang sebuah mekanisme *dynamic vibration absorber* (DVA) yang terdiri dari massa *absorber*, pegas *absorber* berupa

beam, peredam dan sebuah tumpuan. Berikut adalah gambar DVA yang digunakan pada penelitian ini



Gambar 4. 2 (a) Rancangan *assembly* DVA
(b) Rancangan tumpuan DVA (c) Rancangan pegas DVA

Keterangan :

- | | |
|--------------------------------|------------|
| 1. Tumpuan DVA | 4. Baut m3 |
| 2. Pegas DVA model <i>beam</i> | 5. Baut m6 |
| 3. Massa <i>absorber</i> | |

DVA tersebut kemudian akan divariasikan massa, pegas, dan posisinya untuk mencari kombinasi yang paling optimal dalam meredam getaran yang terjadi. Berikut adalah spesifikasi dan variasi yang akan dilakukan pada penelitian ini.

$$\begin{aligned}
 Ma_1 &= (1/10) \times 7 \text{ kg} &= 700 \text{ gram} \\
 Ma_2 &= (1/20) \times 7 \text{ kg} &= 350 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Ma_3 &= (1/30) \times 7 \text{ kg} &= 233,33 \text{ gram} \\
Ka_1 &= (1/10) \times 10416,48 \text{ N/m} &= 1041,6 \text{ N/m} \\
Ka_2 &= (1/20) \times 10416,48 \text{ N/m} &= 520,8 \text{ N/m} \\
Ka_3 &= (1/30) \times 10416,48 \text{ N/m} &= 347,2 \text{ N/m} \\
b_1 &= 0 \text{ m} \\
b_2 &= 0.1 \text{ m} \\
b_3 &= 0.2 \text{ m}
\end{aligned}$$

Massa *absorber* yang berbentuk silinder dengan berbagai ukuran dibuat menggunakan proses bubut dengan material steel sehingga diperoleh rasio massa *absorber* terhadap massa utama sebesar 1/10, 1/20, dan 1/30. Pegas *absorber* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan model *beam* dengan material stainless steel yang nilainya dapat divariasikan dengan cara merubah panjang *beam* tersebut. Untuk dapat mengetahui panjang yang dibutuhkan sesuai pada penelitian ini, maka dilakukan penghitungan sebagai berikut :

$$K = \frac{3 E I}{l^3}$$

Dimana :

E = modulus elastisitas (Pa)

I = inersia

L = panjang pegas (m)

Inersia *beam* didapat dengan menggunakan rumus inersia *beam* dengan tumpuan di ujung sebagai berikut :

$$I = \frac{1}{12} b h^3$$

Dimana :

B = lebar *beam* (m)

H = tebal *beam* (m)

Sehingga untuk nilai $Ka_1 = 1041,6 \text{ N/m}$, maka L ditentukan dengan cara :

$$l^3 = \frac{3 E \frac{1}{12} b h^3}{k a 1}$$

$$l^3 = \frac{3 \times 193 \times 10^9 \times \frac{1}{12} \times 0,03 \times 0,001^3}{1041,6}$$

$$l = \sqrt[3]{\frac{3 \times 193 \times 10^9 \times \frac{1}{12} \times 0,03 \times 0,001^3}{1041,6}}$$

Maka diperoleh nilai $L1 = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$. Dengan cara yang sama, maka diperoleh $L2 = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$ dan $L3 = 0,2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$. Namun, untuk mendapat data yang lebih detail, maka pada penelitian dengan metode penelitian ini variasi posisi ditambahkan menjadi 5, yaitu 0 m, 0,05 m, 0,1 m, 0,15 m, dan 0,2 m yang digunakan pada saat mendapatkan nilai RMS saja. Hal ini tidak berlaku pada *bode diagram* dan lain sebagainya.

4.2 Parameter yang Divariasikan

Untuk mereduksi getaran yang terjadi pada sistem utama, maka dilakukan beberapa variasi pada parameter yang digunakan dalam penelitian ini. Parameter-parameter yang divariasikan meliputi komponen-komponen DVA seperti variasi nilai massa *absorber*, koefisien pegas *absorber*, dan posisi peletakan DVA. Berdasarkan buku Rao yang menjadi salah satu tinjauan pustaka pada penelitian ini, nilai massa *absorber* yang optimal untuk mereduksi getaran pada sistem utama bernilai $1/20$ dari massa utama. Begitu juga dengan nilai pegas *absorber* yang digunakan, berdasarkan buku Rao, diperoleh nilai yang optimal sebesar $1/20$ pegas utama.

Pada penelitian ini, akan dilakukan variasi dengan menggunakan nilai yang lebih besar dan lebih kecil dari nilai optimal yang diberikan buku Rao untuk mengetahui apakah nilai $1/20$ untuk massa dan pegas *absorber* adalah yang paling optimal atau tidak. Maka dari itu digunakan nilai $1/10$ sebagai nilai yang lebih besar dari nilai buku Rao dan $1/30$ sebagai nilai yang lebih

kecil dari nilai buku Rao. Untuk variasi posisi, posisi DVA digeser satu arah dari pusat massa sistem utama menuju ujung tepi dengan selisi 0,1 meter sebanyak 3 kali. Agar lebih mudah dipahami, variasi yang dilakukan pada masing-masing parameter dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah.

Tabel 4. 1 Tabel Variasi Parameter

Parameter yang divariasikan	Simbol	Rasio	Nilai	Satuan
Massa absorber	Ma_1	$(1/10) \times M1$	0,7	kg
	Ma_2	$(1/20) \times M1$	0,35	
	Ma_3	$(1/30) \times M1$	0,233	
Pegas absorber	Ka_1	$(1/10) \times Keq$	1041,6	N/m
	Ka_2	$(1/20) \times Keq$	520,8	
	Ka_3	$(1/30) \times Keq$	347,2	
Jarak dari pusat massa ke DVA	b1		0	m
	b2		0,1	
	b3		0,2	

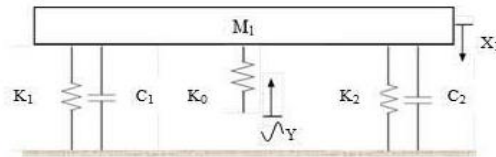
4.3 Analisa Respon

Penelitian dengan menggunakan metode pemodelan simulasi ini dilakukan dengan menggunakan Simulink Matlab, yang diawali proses pembuatan blok-blok diagram. Blok-blok diagram tersebut diperoleh dari penurunan persamaan gerak. Input yang dilakukan pada penelitian ini berupa variasi massa *absorber*, pegas *absorber*, dan jarak peletakan DVA terhadap pusat massa sistem utama. Dari penelitian yang telah dilakukan, akan didapatkan output berupa persentase reduksi *displacement* sistem utama (X_1), *acceleration* (\ddot{X}_1), *angular displacement* (rad), dan *angular acceleration* (rad/s).

4.3.1 Analisa Respon Sistem Utama Tanpa DVA

Dari rancangan sistem utama, dibuatlah pemodelan sistem dinamisnya. Pemodelan sistem utama disederhanakan dengan cara menjadikan sumbu y sebagai sumbu observasi sehingga

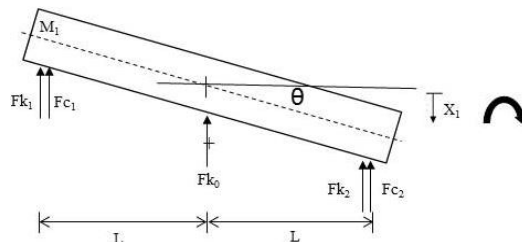
pegas yang menopang massa utama hanya berjumlah dua buah. Berikut adalah pemodelan sistem dinamis yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4. 3 Pemodelan sistem dinamis sistem utama tanpa DVA

Dari pemodelan di atas, dibuatlah *free body diagram* yang digunakan untuk memperoleh persamaan gerak, guna mencari nilai frekuensi natural sistem tersebut. Selain itu, persamaan gerak tersebut juga digunakan untuk melakukan simulasi pada penelitian ini. Untuk melakukan simulasi, persamaan gerak yang sudah diperoleh diubah ke dalam bentuk *state variable*. Setelah itu dibuat blok-blok diagram pada Simulink Matlab dan memasukkan nilai-nilai dari parameter yang digunakan. Kemudian simulasi dijalankan dan diperoleh hasil berupa reduksi redaman.

Berikut adalah gambar *free body diagram* yang diperoleh dari gambar pemodelan di atas.



Gambar 4. 4 *Free body diagram* sistem utama tanpa DVA

Keterangan :

Fk_0 : Gaya harmonik dari massa eksentris (N)

Fk_1 : Gaya aksi-reaksi dari pegas 1 (N)

Fk_2 : Gaya aksi-reaksi dari pegas 2 (N)

Fc_1 : Gaya redaman dari peredam 1 (N)

Fc_2 : Gaya redaman dari peredam 2 (N)

θ : Sudut kemiringan dari sistem utama saat bereksitasi ($^\circ$)

X_1 : *Displacement* dari massa utama (M1)

Dari *free body diagram* di atas diperoleh persamaan gerak sebagai berikut.

Persamaan gerak translasi :

$$M_1\ddot{x}_1 + (c_1 + c_2)\dot{x}_1 + (k_1 + k_2 + k_0)x_1 + (c_2L - c_1L)\dot{\theta}_1 + (k_2L - k_1L)\theta_1 = k_0 \quad (3.4)$$

Persamaan gerak rotasi :

$$J_1\ddot{\theta}_1 + (c_1L^2 + c_2L^2)\dot{\theta}_1 + (k_1L^2 + k_2L^2)\theta_1 + (c_2L - c_1L)\dot{x}_1 + (k_2L - k_1L)x_1 = 0 \quad (3.5)$$

Persamaan gerak 3.4 dan 3.5 kemudian digunakan untuk mencari frekuensi natural menggunakan analisa fundamental sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & J_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & c_2L - c_1L \\ c_2L - c_1L & c_1L^2 + c_2L^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_0 & k_2L - k_1L \\ k_2L - k_1L & k_1L^2 + k_2L^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \theta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_0y \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dalam menghitung frekuensi natural dari sistem, digunakan asumsi berupa gaya eksternal yang terjadi dan nilai redaman yang dimiliki oleh sistem diabaikan. Nilai \ddot{x} disubstitusikan dengan $\ddot{x} = -\lambda x$ dan $\lambda = \omega^2$, sehingga persamaan di atas menjadi :

$$\begin{aligned} -\omega^2 \begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & J_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_0 & k_2L - k_1L \\ k_2L - k_1L & k_1L^2 + k_2L^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \theta_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} -M_1\omega^2 + (k_1 + k_2 + k_0) & (k_2L - k_1L) \\ (k_2L - k_1L) & -J_1\omega^2 + (k_1L^2 + k_2L^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \theta_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Dimana :

- M_1 = Massa sistem utama (7 kg)
 J_1 = Momen inersia massa utama (0,14583 kg.m²)
 Y = Amplitudo dari massa eksentrik (0,03 m)
 k_1 = Koefisien pegas ekivalen 1 dan 3 di massa 1 (6622 N/m)
 k_2 = Koefisien pegas ekivalen 2 dan 4 di massa 1 (3792 N/m)
 k_0 = Koefisien pegas dari massa eksentrik ke massa 1 (150 N/m)
 c_1 = Koefisien redaman ekivalen 1 dan 3 di massa 1 (0,756 Ns/m)
 c_2 = Koefisien redaman ekivalen 2 dan 4 di massa 1 (2,152 Ns/m)
 L = Jarak dari pusat massa ke pegas (0,25 m)

Data-data yang terdapat di atas kemudian dimasukkan ke dalam matriks sehingga diperoleh matriks sebagai berikut yang digunakan untuk mencari frekuensi natural dari sistem tanpa DVA.

$$\begin{bmatrix} -7\omega^2 + 10564 & -707,5 \\ -707,5 & -0,14583\omega^2 + 650,875 \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Karena $\lambda = \omega^2$, maka :

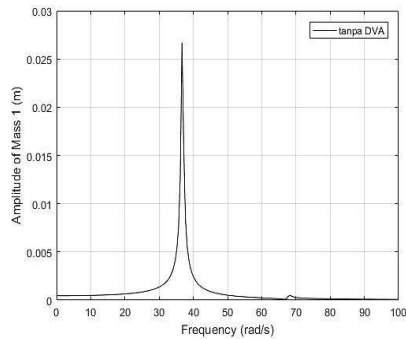
$$\det \begin{bmatrix} -7\omega^2 + 10564 & -707,5 \\ -707,5 & -0,14583\omega^2 + 650,875 \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Sehingga diperoleh nilai λ_1 dan λ_2

$$\lambda_1 = 1351,56 \quad \text{maka, } \omega_{n1} = 36,76357 \text{ rad/s}$$

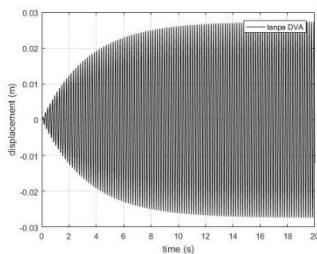
$$\lambda_2 = 4620,82 \quad \text{maka, } \omega_{n2} = 67,97661 \text{ rad/s}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* sistem tanpa DVA seperti ditunjukkan pada gambar berikut.

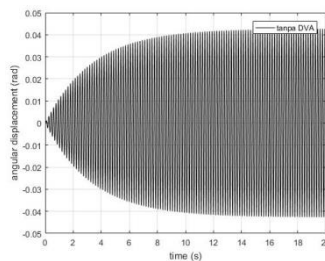


Gambar 4. 6 *Bode diagram* sistem tanpa DVA

Dari gambar *bode diagram* di atas, dapat dilihat bahwa sistem utama tanpa DVA memiliki dua buah puncak yang menunjukkan bahwa sistem tersebut memiliki dua DoF. Kedua puncak merupakan dua frekuensi natural yang dimiliki oleh sistem tanpa DVA. Apabila terjadi getaran pada kondisi yang sama seperti di atas (resonansi), hal itu akan sangat berbahaya. Untuk itu, getaran yang terjadi harus direduksi. Hal ini juga dapat dilihat lebih detail pada respon *displacement*, *angular displacement*, *acceleration*, dan *angular acceleration* seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.

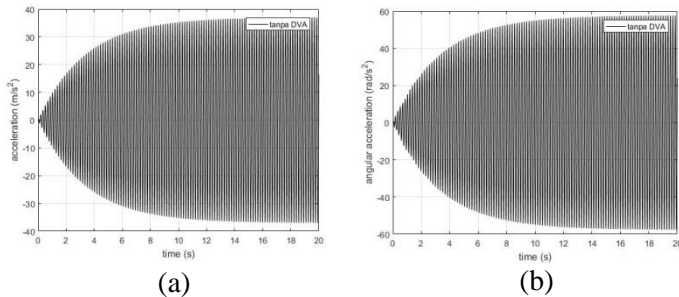


(a)



(b)

Gambar 4. 5 (a) Respon displacement dan (b) Respon *angular displacement* sistem tanpa DVA

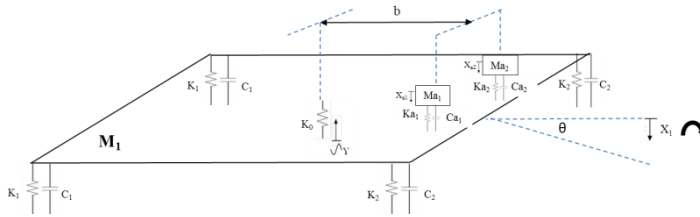


Gambar 4. 7 (a) Respon *acceleration* dan (b) Respon *angular acceleration* sistem tanpa DVA

Dari keempat buah grafik di atas, dapat dilihat bahwa respon, baik *displacement*, *angular displacement*, *acceleration*, dan *angular acceleration* mengalami perubahan nilai yang semakin besar, hingga suatu waktu nilai tersebut menjadi stabil. Melalui simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh RMS *displacement* sebesar 0,01848 m, RMS *angular displacement* sebesar 0,02877 rad, RMS *acceleration* sebesar 24,89 m/s^2 , dan RMS *angular acceleration* sebesar 38,74 rad/s^2 . Melihat besarnya nilai yang diperoleh pada sistem tanpa DVA, maka akan dilakukan peredaman dengan menambahkan DVA untuk menyerap energi getaran pada sistem utama. Diharapkan, setelah ditambahkan DVA, nilai dari tiap-tiap RMS tersebut dapat berubah secara signifikan.

4.3.2. Analisa Respon Sistem Utama dengan DVA

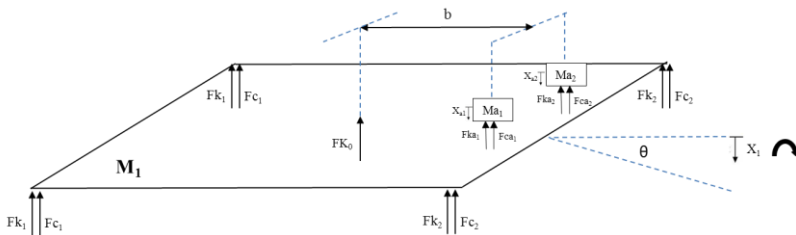
Dari rancangan dan tampak real sistem utama, dibuatlah pemodelan sistem dinamisnya. Pemodelan sistem utama disederhanakan dengan cara menjadikan sumbu y sebagai sumbu observasi sehingga pegas yang menopang massa utama hanya berjumlah dua buah. Berikut adalah pemodelan sistem dinamis yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4. 8 Pemodelan sistem dinamis sistem utama dengan DVA

Dari pemodelan di atas, dibuatlah *free body diagram* yang digunakan untuk memperoleh persamaan gerak, guna mencari nilai frekuensi natural sistem tersebut. Selain itu, persamaan gerak tersebut juga digunakan untuk melakukan simulasi pada penelitian ini. Untuk melakukan simulasi, persamaan gerak yang sudah diperoleh diubah ke dalam bentuk *state variable*. Setelah itu dibuat blok-blok diagram pada Simulink Matlab dan memasukkan nilai-nilai dari parameter yang digunakan. Kemudian simulasi dijalankan dan diperoleh hasil berupa reduksi redaman.

Berikut adalah gambar *free body diagram* yang diperoleh dari gambar pemodelan di atas.



Gambar 4. 9 Free body diagram sistem utama dengan DVA

Keterangan :

Fk_0 : Gaya harmonik dari massa eksentris (N)

Fk_1 : Gaya aksi-reaksi dari pegas 1 (N)

Fk_2 : Gaya aksi-reaksi dari pegas 2 (N)

Fk_a : Gaya aksi-reaksi dari pegas *absorber* (N)

Fc_1 : Gaya redaman dari peredam 1 (N)

- F_{c_2} : Gaya redaman dari peredam 2 (N)
 F_{c_a} : Gaya redaman dari peredam *absorber* (N)
 θ : Sudut kemiringan dari sistem utama saat bereksitasi ($^\circ$)
 X_1 : *Displacement* dari massa utama (M1)
 X_a : *Displacement* dari massa *absorber* (Ma)
 b : Jarak dari pusat massa sistem utama ke posisi DVA (m)

Dari *free body diagram* di atas diperoleh persamaan gerak yang sama seperti pada bab 3 sebagai berikut.

Persamaan gerak translasi M1:

$$M_1\ddot{x}_1 + (c_1 + c_2 + c_{a1} + c_{a2})\dot{x}_1 + (k_1 + k_2 + k_0 + k_{a1} + k_{a2})x_1 + (c_2L - c_1L + c_{a1}b + c_{a2}b)\dot{\theta}_1 + (k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b)\theta_1 - c_{a1}\dot{x}_{a1} - k_{a1}x_{a1} - c_{a2}\dot{x}_{a2} - k_{a2}x_{a2} = k_0y \quad (3.6)$$

Persamaan gerak rotasi M1:

$$J_1\ddot{\theta}_1 + (c_1L^2 + c_2L^2 + c_{a1}b^2 + c_{a2}b^2)\dot{\theta}_1 + (k_1L^2 + k_2L^2 + k_{a1}b^2 + k_{a2}b^2)\theta_1 + (c_2L - c_1L + c_{a1}b + c_{a2}b)\dot{x}_1 + (k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b)x_1 - c_{a1}b\dot{x}_{a1} - k_{a1}bx_{a1} - c_{a2}b\dot{x}_{a2} - k_{a2}bx_{a2} = 0 \quad (3.7)$$

Persamaan gerak translasi Ma₁:

$$M_{a1}\ddot{x}_{a1} + c_{a1}\dot{x}_{a1} + k_{a1}x_{a1} - c_{a1}\dot{x}_1 - k_{a1}x_1 - c_{a1}b\dot{\theta}_1 - k_{a1}b\theta_1 = 0 \quad (3.8)$$

Persamaan gerak translasi Ma₂:

$$M_{a2}\ddot{x}_{a2} + c_{a2}\dot{x}_{a2} + k_{a2}x_{a2} - c_{a2}\dot{x}_1 - k_{a2}x_1 - c_{a2}b\dot{\theta}_1 - k_{a2}b\theta_1 = 0 \quad (3.9)$$

Persamaan gerak 3.6 sampai 3.9 kemudian digunakan untuk mencari frekuensi natural menggunakan analisa fundamental sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_{a1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{a2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_{a1} \\ \ddot{x}_{a2} \\ \ddot{\theta}_1 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + c_{a1} + c_{a2} & -c_{a1} & -c_{a2} & c_2L - c_1L + c_{a1}b + c_{a2}b \\ -c_{a1} & c_{a1} & 0 & -c_{a1}b \\ -c_{a2} & 0 & c_{a2} & -c_{a2}b \\ c_2L - c_1L + c_{a1}b + c_{a2}b & -c_{a1}b & -c_{a2}b & c_1L^2 + c_2L^2 + c_{a1}b^2 + c_{a2}b^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_{a1} \\ \dot{x}_{a2} \\ \dot{\theta}_1 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_0 + k_{a1} + k_{a2} & -k_{a1} & -k_{a2} & k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b \\ -k_{a1} & k_{a1} & 0 & -k_{a1}b \\ -k_{a2} & 0 & k_{a2} & -k_{a2}b \\ k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b & -k_{a1}b & -k_{a2}b & k_1L^2 + k_2L^2 + k_{a1}b^2 + k_{a2}b^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_{a1} \\ x_{a2} \\ \theta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_0y \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Dalam menghitung frekuensi natural dari sistem, digunakan asumsi berupa gaya eksternal yang terjadi dan nilai redaman yang dimiliki oleh sistem diabaikan. Nilai \ddot{x} disubstitusikan dengan $\ddot{x} = -\lambda x$ dan $\lambda = \omega^2$, sehingga persamaan di atas menjadi :

$$-\omega^2 \begin{bmatrix} M_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_{a1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{a2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_0 + k_{a1} + k_{a2} & -k_{a1} & -k_{a2} & k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b \\ -k_{a1} & k_{a1} & 0 & -k_{a1}b \\ -k_{a2} & 0 & k_{a2} & -k_{a2}b \\ k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b & -k_{a1}b & -k_{a2}b & k_1L^2 + k_2L^2 + k_{a1}b^2 + k_{a2}b^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_{a1} \\ x_{a2} \\ \theta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -M_1\omega^2 + (k_1 + k_2 + k_0 + k_{a1} + k_{a2}) & (-k_{a1}) & (-k_{a2}) & (k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b) \\ (-k_{a1}) & -M_{a1}\omega^2 + (k_{a1}) & 0 & (-k_{a1}b) \\ (-k_{a2}) & 0 & -M_{a2}\omega^2 + (k_{a2}) & (-k_{a2}b) \\ (k_2L - k_1L + k_{a1}b + k_{a2}b) & (-k_{a1}b) & (-k_{a2}b) & -J_1\omega^2 + (k_1L^2 + k_2L^2 + k_{a1}b^2 + k_{a2}b^2) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Dimana :

M_1 = Massa sistem utama (7kg)

M_{a1} = Massa *absorber* 1 (0,35 kg; 0,175 kg; 0,11665 kg)

M_{a2} = Massa *absorber* 2 (0,35 kg; 0,175 kg; 0,11665 kg)

J_1	= Momen inersia massa utama	(0,14583 kg.m ²)
Y	= Amplitudo dari massa eksentrik	(0,03 m)
k_1	= Koefisien pegas ekivalen 1 dan 3 di massa 1	(6622 N/m)
k_2	= Koefisien pegas ekivalen 2 dan 4 di massa 1	(3792N/m)
k_0	= Koefisien pegas dari massa eksentrik ke massa 1	(150 N/m)
k_{a1}	= Koefisien pegas <i>absorber</i> 1	(520,8N/m; 260,4N/m; 173,6 N/m)
k_{a2}	= Koefisien pegas <i>absorber</i> 2	(520,8N/m; 260,4N/m; 173,6 N/m)
c_1	= Koefisien redaman ekivalen 1 dan 3 di massa 1	(0,756 Ns/m)
c_2	= Koefisien redaman ekivalen 2 dan 4 di massa 1	(2,152 Ns/m)
c_{a1}	= Koefisien redaman <i>absorber</i>	(1,2 Ns/m)
c_{a2}	= Koefisien redaman <i>absorber</i>	(1,2 Ns/m)
L	= Jarak dari pusat massa ke pegas	(0,25 m)
b	= Jarak dari pusat massa ke DVA	(0 m; 0,1 m; 0,2 m)

Data-data beserta variasinya yang terdapat di atas kemudian dimasukkan ke dalam matriks sehingga diperoleh matriks yang akan digunakan untuk mencari frekuensi natural dan respon dari sistem dengan DVA beserta variasi-variasinya.

4.3.2.1 Analisa Sistem Utama dengan Variasi Posisi DVA (M_a dan k_a tetap)

Untuk mendapatkan hasil yang lebih detail, maka pengambilan data pada variasi posisi ditambahkan menjadi lima kali (0 m; 0,05 m; 0,1 m; 0,15 m; 0,2 m). Namun hal tersebut hanya dilakukan untuk mendapatkan nilai RMS. Hal tersebut tidak berlaku untuk mencari frekuensi natural dan lain sebagainya. Untuk itu, data yang digunakan untuk mencari frekuensi natural dan *bode diagram* sama seperti di atas, sedangkan cara yang digunakan juga sama seperti sistem tanpa

DVA. Menggunakan persamaan matriks sistem utama dengan DVA, sehingga didapat matriks sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Dengan : } M_{a1} &= M_{a2} = 0,35 \text{ kg ;} \\ k_{a1} &= k_{a2} = 520,8 \text{ N/m ; dan variasi b} \\ b_1 &= 0 \text{ m ; } b_2 = 0,1 \text{ m ; } b_3 = 0,2 \text{ m.} \end{aligned}$$

Maka dengan nilai b_1 berlaku :

$$\det \begin{bmatrix} 11605,6 - 7\omega^2 & -520,8 & -520,8 & -707,5 \\ -520,8 & 520,8 - 0,35\omega^2 & 0 & 0 \\ -520,8 & 0 & 520,8 - 0,35\omega^2 & 0 \\ -707,5 & 0 & 0 & 650,875 - 0,14583\omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Sehingga didapat :

$$\begin{aligned} \omega_{n1} &= 32,1061 \text{ rad/s} & \omega_{n3} &= 44,1166 \text{ rad/s} \\ \omega_{n2} &= 38,5746 \text{ rad/s} & \omega_{n4} &= 68,0596 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

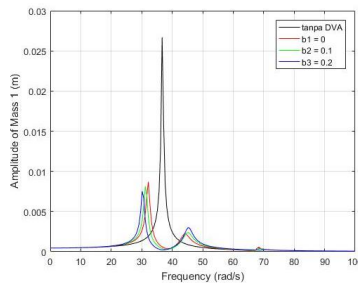
Dengan cara yang sama seperti di atas, menggunakan nilai b_2 , maka didapat :

$$\begin{aligned} \omega_{n1} &= 31,3080 \text{ rad/s} & \omega_{n3} &= 45,0551 \text{ rad/s} \\ \omega_{n2} &= 38,5746 \text{ rad/s} & \omega_{n4} &= 68,3408 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Dan menggunakan nilai b_3 , akan didapat :

$$\begin{aligned} \omega_{n1} &= 30,3373 \text{ rad/s} & \omega_{n3} &= 45,2845 \text{ rad/s} \\ \omega_{n2} &= 38,5746 \text{ rad/s} & \omega_{n4} &= 70,1702 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 10 *Bode diagram* sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA M_{a1} , K_{a1} , b bervariasi

Dapat dilihat pada gambar 4.9 di atas bahwa nilai yang ditunjukkan grafik warna biru yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (M_{a1}), pegas *absorber* 1 (K_{a1}), dan posisi 3 (b_3) lebih kecil dari grafik warna hijau yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (M_{a1}), pegas *absorber* 1 (K_{a1}), dan posisi 2 (b_2) dan grafik warna merah yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (M_{a1}), pegas *absorber* 1 (K_{a1}), dan posisi 1 (b_1) ketika frekuensi natural sistem utama. Dengan rendahnya nilai amplitudo massa utama yang hampir bernilai 0 akibat kombinasi redaman dengan M_{a1} , K_{a1} , dan b_3 , berarti kombinasi ini merupakan yang terbaik dalam mereduksi getaran dibanding dua kombinasi lainnya.

$$\begin{aligned} \text{Dengan : } M_{a1} &= M_{a2} = 0,35 \text{ kg ;} \\ k_{a1} &= k_{a2} = 260,4 \text{ N/m ; dan variasi } b \\ b_1 &= 0 \text{ m ; } b_2 = 0,1 \text{ m ; } b_3 = 0,2 \text{ m.} \end{aligned}$$

Maka dengan nilai b_1 berlaku :

$$\det \begin{bmatrix} 11084,8 - 7\omega^2 & -260,4 & -260,4 & -707,5 \\ -260,4 & 260,4 - 0,35\omega^2 & 0 & 0 \\ -260,4 & 0 & 260,4 - 0,35\omega^2 & 0 \\ -707,5 & 0 & 0 & 650,875 - 0,14583\omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Sehingga didapat :

$$\begin{aligned} \omega_{n1} &= 25,9447 \text{ rad/s} & \omega_{n3} &= 38,6322 \text{ rad/s} \\ \omega_{n2} &= 27,2764 \text{ rad/s} & \omega_{n4} &= 68,0089 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

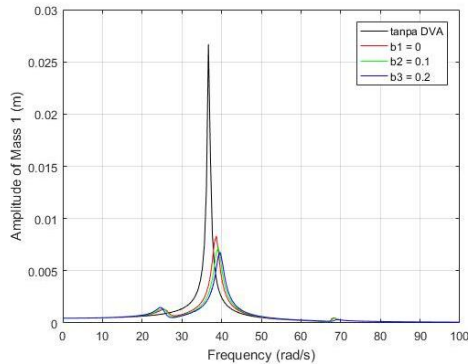
Dengan cara yang sama seperti di atas, menggunakan nilai b_2 , maka didapat :

$$\begin{aligned} \omega_{n1} &= 25,5539 \text{ rad/s} & \omega_{n3} &= 39,1607 \text{ rad/s} \\ \omega_{n2} &= 27,2764 \text{ rad/s} & \omega_{n4} &= 68,1171 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Dan menggunakan nilai b_3 , akan didapat :

$$\begin{aligned} \omega_{n1} &= 24,9888 \text{ rad/s} & \omega_{n3} &= 39,6254 \text{ rad/s} \\ \omega_{n2} &= 27,2764 \text{ rad/s} & \omega_{n4} &= 68,8406 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 11 *Bode diagram* sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ma1, Ka2, b bervariasi

Dari gambar 4.10 di atas dapat kita ketahui bahwa nilai yang ditunjukkan grafik warna biru yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (Ma1), pegas *absorber* 2 (Ka2), dan posisi 3 (b3) lebih kecil dari grafik warna hijau yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (Ma1), pegas *absorber* 2 (Ka2), dan posisi 2 (b2) dan grafik warna merah yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (Ma1), pegas *absorber* 2 (Ka2), dan posisi 1 (b1) ketika frekuensi natural sistem utama. Dengan paling rendahnya nilai amplitudo massa utama akibat kombinasi redaman dengan Ma1, Ka2, dan b3, berarti kombinasi ini merupakan yang terbaik dalam mereduksi getaran dibanding dua kombinasi lainnya.

$$\begin{aligned} \text{Dengan : } M_{a1} &= M_{a2} = 0,35 \text{ kg ;} \\ k_{a1} &= k_{a2} = 173,6 \text{ N/m ; dan variasi b} \\ b1 &= 0 \text{ m ; } b2 = 0,1 \text{ m; } b3 = 0,2 \text{ m.} \end{aligned}$$

Maka dengan nilai b1 berlaku :

$$\det \begin{bmatrix} 10911,2 - 7\omega^2 & -173,6 & -173,6 & -707,5 \\ -173,6 & 173,6 - 0,35\omega^2 & 0 & 0 \\ -173,6 & 0 & 173,6 - 0,35\omega^2 & 0 \\ -707,5 & 0 & 0 & 650,875 - 0,14583\omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Sehingga didapat :

$$\omega_{n1} = 21,6914 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 37,7349 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 22,2711 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 67,9967 \text{ rad/s}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, menggunakan nilai b2, maka didapat :

$$\omega_{n1} = 21,4961 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 38,0402 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 22,2711 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 68,0636 \text{ rad/s}$$

Dan menggunakan nilai b3, akan didapat :

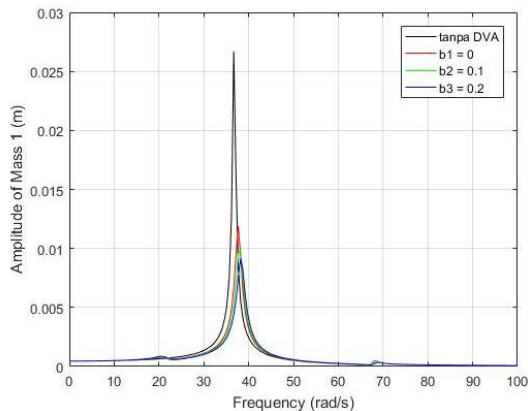
$$\omega_{n1} = 21,1843 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 38,3474 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 22,2711 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 68,5122 \text{ rad/s}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 12 *Bode diagram* sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ma1, Ka3, b bervariasi

Gambar 4.11 di atas merupakan perbandingan *bode diagram* dengan kombinasi Ma_1 , Ka_3 , dan b yang bervariasi. Dari gambar tersebut dapat kita lihat bahwa nilai yang ditunjukkan grafik warna biru yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (Ma_1), pegas *absorber* 3 (Ka_3), dan posisi 3 (b_3) lebih kecil dari grafik warna hijau yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (Ma_1), pegas *absorber* 3 (Ka_3), dan posisi 2 (b_2) dan grafik warna merah yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (Ma_1), pegas *absorber* 3 (Ka_3), dan posisi 1 (b_1) ketika frekuensi natural sistem utama. Dengan paling rendahnya nilai amplitudo massa utama akibat kombinasi redaman dengan Ma_1 , Ka_3 , dan b_3 , berarti kombinasi ini merupakan yang terbaik dalam mereduksi getaran dibanding dua kombinasi lainnya.

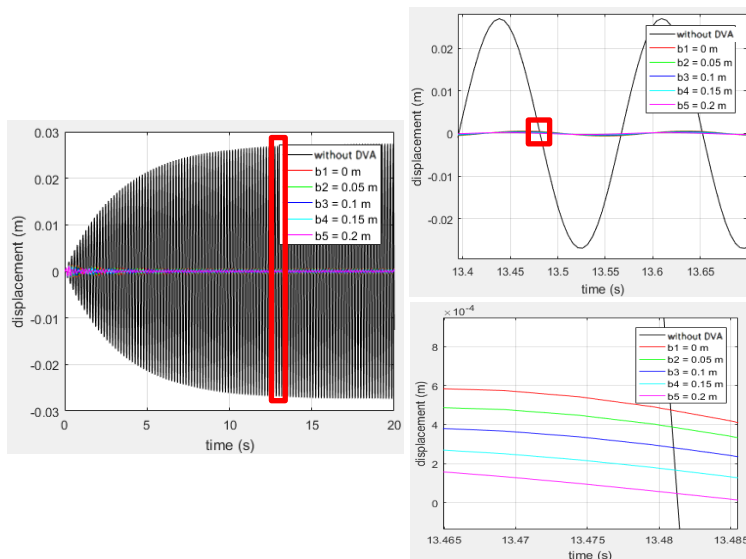
Menggunakan cara yang sama seperti di atas, dilakukan perhitungan frekuensi natural sistem dengan DVA, menggunakan data-data berupa variasi nilai massa *absorber* yang kedua dan ketiga ($Ma_2 = 0,175$ kg dan $Ma_3 = 0,11665$ kg) dengan variasi nilai pegas *absorber* pertama, kedua, dan ketiga ($Ka_1 = 5520,8$ N/m, $Ka_2 = 260,4$ N/m, $Ka_3 = 173,6$ N/m) dan variasi posisi DVA pertama, kedua, dan ketiga ($b_1 = 0$ m, $b_2 = 0,1$ m, $b_3 = 0,2$ m), akan didapat frekuensi natural dari masing-masing kombinasi yang dapat dilihat pada tabel di bagian lampiran. Dari masing-masing kombinasi yang terdapat pada tabel di bagian lampiran tersebut dan frekuesinya, maka akan didapatkan *bode diagram* untuk tiap-tiap kondisi dengan cara yang sama seperti Ma_1 . *Bode diagram* dari masing-masing kondisi yang tidak tertera di atas dapat dilihat pada lampiran.

Dari semua gambar *bode diagram* yang telah diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa kombinasi massa *absorber*, pegas *absorber*, dan posisi yang terbaik adalah kombinasi massa dan pegas *absorber* yang memiliki rasio yang sama terhadap massa dan pegas utama, serta posisi DVA yang terbaik adalah yang terjauh dari pusat massa. Untuk lebih detail seberapa besar getaran yang direduksi oleh DVA ini, akan ditinjau melalui RMS

displacement dan *acceleration* pada arah translasi, serta RMS *angular displacement* dan *angular acceleration* pada arah rotasi.

4.3.2.1.1 Analisa Reduksi Respon Translasi

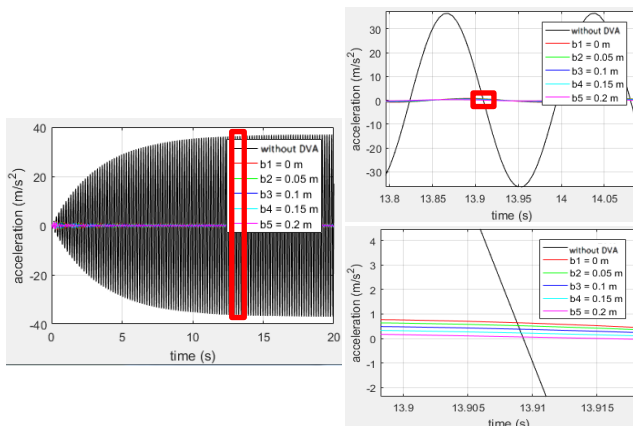
Pada analisa reduksi respon translasi, objek yang diteliti dalam penelitian ini adalah *displacement* dan *acceleration*. Blok diagram yang bersumber dari persamaan gerak dibuat pada *software* simulink matlab dan simulasi dijalankan. Setelah simulasi dijalankan, maka akan didapat hasil berupa RMS *displacement* sebesar 0,01848 m dan RMS *acceleration* sebesar 24,89 m/s² dari sistem tanpa DVA. Nilai tersebut kemudian direduksi dengan cara menginputkan variasi-variasi DVA yang digunakan pada penelitian ini dan dicari kombinasi variasi yang dapat mereduksi getaran paling optimal. Berikut adalah tampilan respon *displacement* yang diwakilkan oleh kombinasi massa *absorber* 1 (Ma1), pegas *absorber* 1 (Ka1), dan variasi posisi (b1, b2, b3, b4, b5).



Gambar 4. 13 Respon *displacement* dengan kombinasi Ma1, Ka1, dan b bervariasi

Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *displacement* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di lampiran. Dari tabel tersebut, akan didapat grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber*. Grafik tersebut sangat mirip dengan grafik persen reduksi RMS *acceleration* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* dan memiliki pembahasan yang sama dengan *acceleration* di bawah.

Hal yang sama juga dilakukan pada respon *acceleration*. Simulasi sistem utama tanpa DVA dilakukan untuk mendapatkan respon *acceleration* dari sistem utama tanpa DVA. Kemudian diperoleh juga nilai RMS *acceleration* sebesar $24,89 \text{ m/s}^2$. Nilai tersebut merupakan objek yang harus direduksi. Untuk itu, dicari kombinasi massa *absorber* (M_a), pegas *absorber* (K_a), dan posisi DVA (b) yang mampu mereduksi paling baik. Berikut adalah salah satu gambar yang mewakili respon *acceleration* yang telah direduksi dengan menggunakan kombinasi massa *absorber* 1 (M_{a1}), pegas *absorber* 1 (K_{a1}), dan variasi posisi (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5).



Gambar 4. 14 Respon *acceleration* dengan kombinasi M_{a1} , K_{a1} , dan b bervariasi

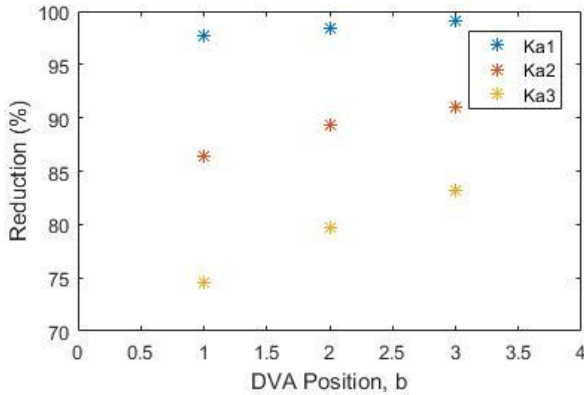
Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *acceleration* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data sample RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah dan untuk data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4. 2 Data-data RMS *acceleration* dan persen reduksinya

<i>Acceleration</i>					
Ma1	Ka1	b1	24,89	0,5788	97,6745681
		b2	24,89	0,484	98,05544395
		b3	24,89	0,3832	98,46042587
		b4	24,89	0,2885	98,84089996
		b5	24,89	0,2188	99,1209321
	Ka2	b1	24,89	3,401	86,33587786
		b2	24,89	2,981	88,02330253
		b3	24,89	2,664	89,29690639
		b4	24,89	2,425	90,25713138
		b5	24,89	2,245	90,98031338
	Ka3	b1	24,89	6,348	74,49578144
		b2	24,89	5,627	77,39252712
		b3	24,89	5,041	79,7468863
		b4	24,89	4,563	81,66733628
		b5	24,89	4,172	83,23824829

Tabel 4.2 di atas merupakan tabel kombinasi massa *absorber* 1 (Ma1), pegas absorber yang bervariasi (Ka1, Ka2, Ka3), dan posisi DVA (b1, b2, b3, b4, b5) serta nilai RMS *acceleration* sebelum dan sesudah reduksi yang dilengkapi

dengan nilai persen reduksinya. Dari data-data tersebut, kemudian diplot pada sebuah grafik, sehingga terlihat bagaimana pengaruh variasi nilai pegas *absorber* dan posisi DVA yang terjadi ketika digunakan massa *absorber* 1 (Ma1). Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.14 di bawah.



Gambar 4. 15 Grafik persen reduksi RMS *acceleration* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* di massa *absorber* 1 (Ma1)

Dari gambar 4.14 di atas, dapat terlihat bahwa grafik berwarna biru yang mewakili pegas *absorber* 1 (Ka1), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna merah yang mewakili pegas *absorber* 2 (Ka2) dan grafik berwarna hijau yang mewakili pegas *absorber* 3 (Ka3). Semakin besar pergeseran posisi DVA menjauhi pusat massa menyebabkan nilai RMS *acceleration* yang dihasilkan semakin rendah, sehingga reduksi yang terjadi semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari posisi DVA (b) yang semakin membesar mengakibatkan kenaikan nilai reduksi dan berlaku bagi ketiga nilai pegas *absorber*. Kombinasi yang terbaik pada kondisi ini adalah massa *absorber* 1 (Ma1), dengan pegas *absorber* 1 (Ka1), dan posisi

DVA terjauh dari pusat massa (b5). Hal tersebut juga berlaku pada *displacement*.

Berdasarkan data dan grafik yang diperoleh dari hasil simulasi, dapat kita ketahui bahwa persen reduksi terbesar dicapai pada nilai 99,1%. Nilai tersebut mendekati 100% yang berarti hampir sempurna. Hal ini disebabkan oleh karakter dari DVA itu sendiri. Dimana, DVA memiliki kemampuan meredam getaran dengan sangat baik pada frekuensi tertentu. Karena karakternya tersebut, DVA digunakan khusus untuk meredam getaran yang terjadi pada frekuensi operasi yang sama dengan frekuensi natural dari sistem itu sendiri. Dengan kombinasi massa, pegas, dan posisi yang baik, maka kemampuannya dalam meredam getaran menjadi sangat optimal, sehingga persen reduksinya menjadi sangat besar.

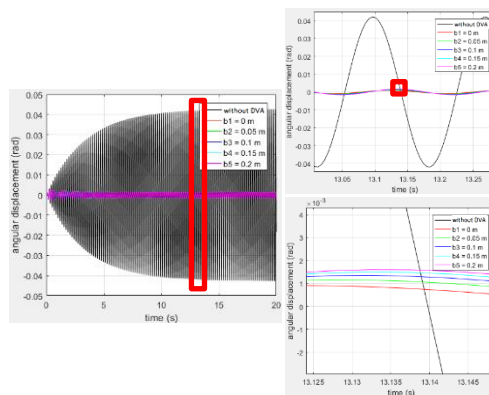
Kombinasi-kombinasi yang tidak tertera di atas, meliputi massa *absorber* (Ma2 dan Ma3), pegas *absorber* (Ka1, Ka2, dan Ka3), dan posisi (b1, b2, b3, b4, dan b5) yang terdiri dari : respon, tabel RMS beserta persen hasil reduksi, dan grafik reduksi dapat dilihat pada lampiran. Dari kedua pembahasan mengenai *displacement* dan *acceleration* di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai RMS dan persentase reduksi keduanya berbanding lurus. Sehingga grafik yang dihasilkan seperti identik. Kombinasi massa *absorber*, pegas *absorber*, dan posisi yang terbaik adalah kombinasi massa dan pegas *absorber* yang memiliki rasio yang sama terhadap massa dan pegas utama, serta posisi DVA yang terbaik adalah yang terjauh dari pusat massa.

4.3.2.1.2 Analisa Reduksi Respon Rotasi

Pada analisa reduksi rotasi, objek yang diteliti dalam penelitian ini adalah *angular displacement* dan *angular acceleration*. Dengan cara yang sama seperti analisa reduksi translasi, dilakukan proses simulasi. Setelah simulasi dijalankan, maka akan didapat hasil berupa RMS *angular displacement* sebesar 0,02877 m dan RMS *angular acceleration* sebesar 38,74

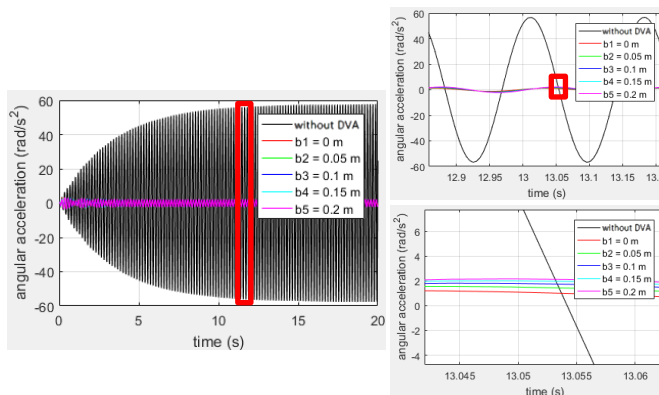
rad/s² dari sistem tanpa DVA. Nilai tersebut kemudian direduksi dengan cara menginputkan variasi-variasi DVA yang digunakan pada penelitian ini dan dicari kombinasi variasi yang dapat mereduksi getaran paling optimal. Berikut adalah tampilan respon *angular displacement* yang diwakilkan oleh kombinasi massa *absorber* 1 (Ma1), pegas *absorber* 1 (Ka1), dan variasi posisi (b1, b2, b3, b4, b5).

Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *angular displacement* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di bagian lampiran. Dari tabel tersebut, akan didapat grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber*. Grafik tersebut sangat mirip dengan grafik persen reduksi RMS *angular acceleration* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* dan memiliki pembahasan yang sama dengan *angular acceleration* berikut.



Gambar 4. 16 Respon *angular displacement* dengan kombinasi Ma1, Ka1, dan b bervariasi

Hal yang sama juga dilakukan pada respon *angular acceleration*. Simulasi sistem utama tanpa DVA dilakukan untuk mendapatkan respon *angular acceleration* dari sistem utama tanpa DVA. Kemudian diperoleh juga nilai RMS *angular acceleration* sebesar $38,74 \text{ rad/s}^2$. Nilai tersebut merupakan objek yang harus direduksi. Untuk itu, dicari kombinasi massa *absorber* (M_a), pegas *absorber* (K_a), dan posisi DVA (b) yang mampu mereduksi paling baik. Berikut adalah salah satu gambar yang mewakili respon *angular acceleration* yang telah direduksi dengan menggunakan kombinasi massa *absorber* 1 (M_{a1}), pegas *absorber* 1 (K_{a1}), dan variasi posisi (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5).



Gambar 4. 17 Respon *angular acceleration* dengan kombinasi M_{a1} , K_{a1} , dan b bervariasi

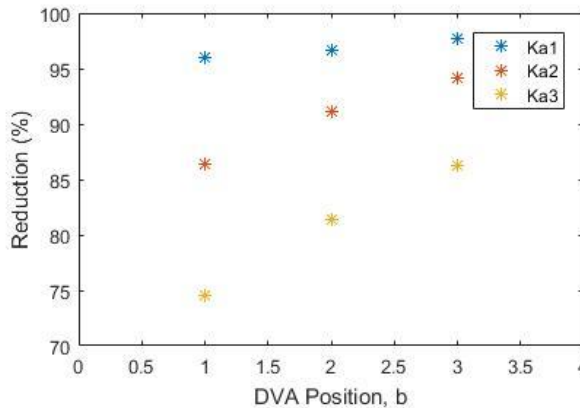
Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *angular acceleration* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di berikut.

Tabel 4. 3 Data-data RMS *angular displacement* dan persen reduksinya

Angular Acceleration					
Ma	Ka	b	sebelum	sesudah	Reduksi (%)
Ma1	Ka1	b1	38,74	1,541	96,02219928
		b2	38,74	1,442	96,2777491
		b3	38,74	1,306	96,62880743
		b4	38,74	1,126	97,09344347
		b5	38,74	0,9018	97,67217346
	Ka2	b1	38,74	5,298	86,3242127
		b2	38,74	4,272	88,9726381
		b3	38,74	3,453	91,08673206
		b4	38,74	2,796	92,78265359
		b5	38,74	2,266	94,15074858
	Ka3	b1	38,74	9,887	74,47857512
		b2	38,74	8,423	78,25761487
		b3	38,74	7,203	81,40681466
		b4	38,74	6,183	84,03975219
		b5	38,74	5,326	86,25193598

Tabel 4.3 di atas merupakan tabel kombinasi massa *absorber* 1 (Ma1), pegas *absorber* yang bervariasi (Ka1, Ka2, Ka3), dan posisi DVA (b1, b2, b3, b4, b5) serta nilai RMS *angular acceleration* sebelum dan sesudah reduksi yang dilengkapi dengan nilai persen reduksinya. Dari data-data

tersebut, kemudian diplot pada sebuah grafik, sehingga terlihat bagaimana pengaruh variasi nilai pegas *absorber* dan posisi DVA yang terjadi ketika digunakan massa *absorber* 1 (Ma1). Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.17 di bawah.



Gambar 4. 18 Grafik persen reduksi RMS *angular acceleration* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* di massa *absorber* 1 (Ma1)

Dari gambar 4.17 di atas, dapat terlihat bahwa grafik berwarna biru yang mewakili pegas *absorber* 1 (Ka1), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna merah yang mewakili pegas *absorber* 2 (Ka2) dan grafik berwarna hijau yang mewakili pegas *absorber* 3 (Ka3). Semakin besar pergeseran posisi DVA menjauhi pusat massa menyebabkan nilai RMS *acceleration* yang dihasilkan semakin rendah, sehingga reduksi yang terjadi semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari posisi DVA (b) yang semakin membesar mengakibatkan kenaikan nilai reduksi. Kenaikan ini berlaku bagi semua variasi pegas *absorber* yang digunakan. Kombinasi yang terbaik pada kondisi ini adalah massa *absorber* 1 (Ma1), dengan pegas *absorber* 1 (Ka1), dan posisi DVA terjauh dari pusat massa (b5). Hal tersebut juga berlaku pada *angular displacement*.

Kombinasi-kombinasi yang tidak tertera di atas, meliputi massa *absorber* (M_{a2} dan M_{a3}), pegas *absorber* (K_{a1} , K_{a2} , dan K_{a3}), dan posisi (b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , dan b_5) yang terdiri dari : respon, tabel RMS beserta persen hasil reduksi, dan grafik reduksi dapat dilihat pada lampiran. Dari kedua pembahasan mengenai *angular displacement* dan *angular acceleration* di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai RMS dan persentase reduksi keduanya berbanding lurus. Sehingga grafik yang dihasilkan seperti identik dan memiliki pembahasan yang sama.

4.3.2.2 Analisa Sistem Utama dengan Variasi Pegas DVA (b dan $M_{a\text{tetap}}$)

Untuk mendapatkan hasil yang lebih detail, maka pengambilan data pada variasi posisi ditambahkan menjadi lima kali (0 m; 0,05 m; 0,1 m; 0,15 m; 0,2 m). Namun hal tersebut hanya dilakukan untuk mendapatkan nilai RMS. Hal tersebut tidak berlaku untuk mencari frekuensi natural dan lain sebagainya. Untuk itu, data yang digunakan untuk mencari frekuensi natural dan *bode diagram* sama seperti data awal, sedangkan cara yang digunakan juga sama seperti sistem tanpa DVA. Menggunakan persamaan matriks sistem utama dengan DVA, sehingga didapat matriks sebagai berikut

Dengan: $M_{a1} = M_{a2} = 0,35 \text{ kg}$;

$b_1 = 0 \text{ m}$; dan variasi k_a ;

$k_{a1} = 520,8 \text{ N/m}$; $k_{a2} = 260,4 \text{ N/m}$; $k_{a3} = 173,6 \text{ N/m}$.

Maka dengan nilai k_{a1} berlaku :

$$\det \begin{bmatrix} 11605,6 - 7\omega^2 & -520,8 & -520,8 & -707,5 \\ -520,8 & 520,8 - 0,35\omega^2 & 0 & 0 \\ -520,8 & 0 & 520,8 - 0,35\omega^2 & 0 \\ -707,5 & 0 & 0 & 650,875 - 0,14583\omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Sehingga didapat :

$$\omega_{n1} = 32,1061 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 44,1166 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 38,5746 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 68,0596 \text{ rad/s}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, menggunakan nilai k_{a2} , maka didapat :

$$\omega_{n1} = 25,9447 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 38,6322 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 27,2764 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 68,0089 \text{ rad/s}$$

Dan menggunakan nilai k_{a3} , akan didapat :

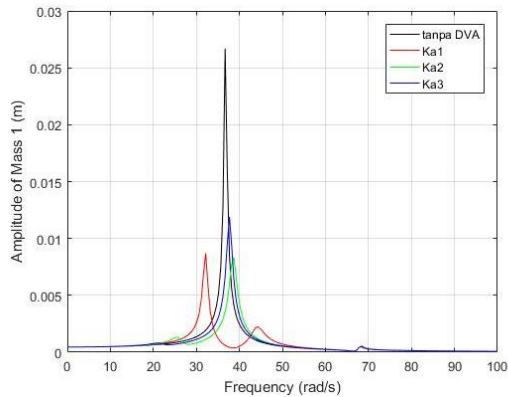
$$\omega_{n1} = 21,6914 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 37,7349 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 22,2711 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 67,9967 \text{ rad/s}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 19 *Bode diagram* sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ma1, b1, Ka bervariasi

Dari gambar 4.18 di atas dapat dilihat bahwa nilai yang ditunjukkan grafik berwarna merah yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (M_{a1}), posisi DVA 1 ($b1$), dan pegas *absorber* 1 (1) menunjukkan nilai yang jauh lebih kecil dari grafik warna hijau yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (M_{a1}), posisi DVA 1 ($b1$), dan pegas *absorber* 2 (K_{a2}) dan grafik berwarna biru yang merupakan kombinasi massa *absorber* 1 (M_{a1}), posisi DVA 1 ($b1$), dan pegas *absorber* 3 (K_{a3}) ketika frekuensi natural sistem utama. Dengan rendahnya nilai amplitudo massa utama yang mendekati nilai 0 akibat kombinasi redaman dengan M_{a1} , $b1$, dan K_{a1} , berarti kombinasi ini merupakan yang terbaik dalam mereduksi getaran dibanding dua kombinasi lainnya.

Dengan : $M_{a1} = M_{a2} = 0,175 \text{ kg}$;

$b1 = 0 \text{ m}$; dan variasi k_a ;

$k_{a1} = 520,8 \text{ N/m}$; $k_{a2} = 260,4 \text{ N/m}$; $k_{a3} = 173,6 \text{ N/m}$.

Maka dengan nilai k_{a1} berlaku :

$$\det \begin{bmatrix} 11605,6 - 7\omega^2 & -520,8 & -520,8 & -707,5 \\ -520,8 & 520,8 - 0,175\omega^2 & 0 & 0 \\ -520,8 & 0 & 520,8 - 0,175\omega^2 & 0 \\ -707,5 & 0 & 0 & 650,875 - 0,14583\omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Sehingga didapat :

$$\omega_{n1} = 35,3409 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 56,61 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 54,5527 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 68,1434 \text{ rad/s}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, menggunakan nilai k_{a2} , maka didapat :

$$\omega_{n1} = 33,5936 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 42,1897 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 38,5746 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 68,0168 \text{ rad/s}$$

Dan menggunakan nilai k_{a3} , akan didapat :

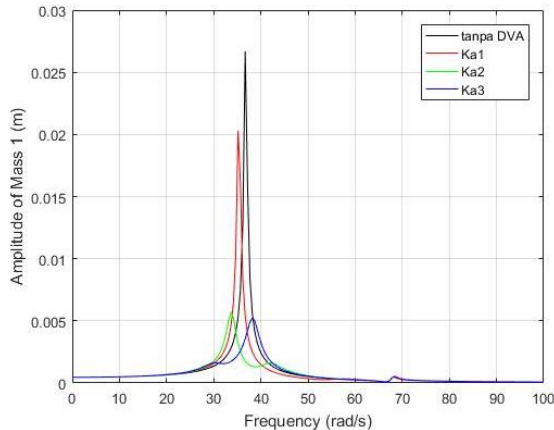
$$\omega_{n1} = 29,9661 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 38,6276 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 31,496 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 67,9995 \text{ rad/s}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 20 *Bode diagram* sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ma2, b1, Ka bervariasi

Dari gambar 4.19 di atas dapat kita ketahui bahwa nilai yang ditunjukkan grafik warna merah yang merupakan kombinasi massa *absorber* 2 (Ma2), posisi DVA 1 (b1), dan pegas *absorber* 1 (Ka1) lebih besar dari grafik warna hijau yang merupakan kombinasi massa *absorber* 2 (Ma2), posisi DVA 1 (b1), dan pegas *absorber* 2 (Ka2) dan grafik warna biru yang merupakan kombinasi massa *absorber* 2 (Ma2), posisi DVA 1 (b1), dan pegas *absorber* 3 (Ka3) ketika frekuensi natural pertama sistem utama. Dengan paling rendahnya nilai amplitudo massa utama akibat kombinasi redaman dengan Ma2, b1, dan Ka2, berarti kombinasi ini merupakan yang terbaik dalam mereduksi getaran dibanding dua kombinasi lainnya.

Dengan: $M_{a1} = M_{a2} = 0,11665 \text{ kg}$;
 $b1 = 0 \text{ m}$; dan variasi k_a ;
 $k_{a1} = 520,8 \text{ N/m}$; $k_{a2} = 260,4 \text{ N/m}$; $k_{a3} = 173,6 \text{ N/m}$.

Maka dengan nilai k_{a1} berlaku :

$$\det \begin{bmatrix} 11605,6 - 7\omega^2 & -520,8 & -520,8 & -707,5 \\ -520,8 & 520,8 - 0,11665\omega^2 & 0 & 0 \\ -520,8 & 0 & 520,8 - 0,11665\omega^2 & 0 \\ -707,5 & 0 & 0 & 650,875 - 0,14583\omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Sehingga didapat :

$$\omega_{n1} = 35,9684 \text{ rad/s} \quad \omega_{n3} = 66,8179 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 66,8119 \text{ rad/s} \quad \omega_{n4} = 69,4857 \text{ rad/s}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, menggunakan nilai k_{a2} , maka didapat :

$$\omega_{n1} = 35,4925 \text{ rad/s} \quad \omega_{n3} = 48,9013 \text{ rad/s}$$

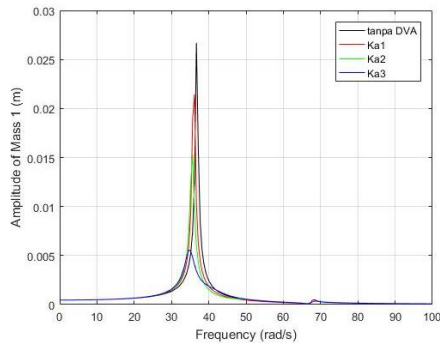
$$\omega_{n2} = 47,2474 \text{ rad/s} \quad \omega_{n4} = 68,0298 \text{ rad/s}$$

Dan menggunakan nilai k_{a3} , akan didapat :

$$\omega_{n1} = 34,2697 \text{ rad/s} \quad \omega_{n3} = 41,3685 \text{ rad/s}$$

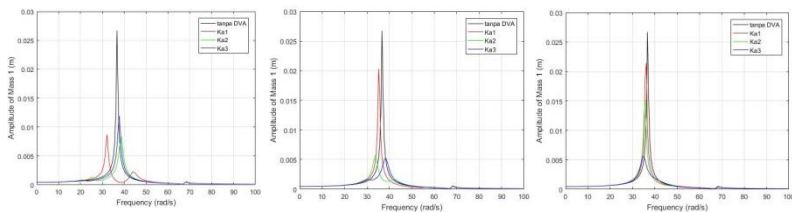
$$\omega_{n2} = 38,5774 \text{ rad/s} \quad \omega_{n4} = 68,0032 \text{ rad/s}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 21 *Bode diagram* sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ma3, b1, Ka bervariasi

Gambar 4.20 di atas merupakan grafik perbandingan *bode diagram* dengan kombinasi Ma_3 , b_1 , dan K_a yang divariasikan. Dari gambar tersebut dapat kita lihat bahwa nilai yang ditunjukkan grafik warna merah yang merupakan kombinasi massa *absorber* 3 (Ma_3), posisi DVA 1 (b_1), dan pegas *absorber* 3 (Ka_3) lebih besar dari grafik warna hijau yang merupakan kombinasi massa *absorber* 3 (Ma_3), posisi DVA 1 (b_1), dan pegas *absorber* 2 (Ka_2) dan grafik warna merah yang merupakan kombinasi massa *absorber* 3 (Ma_3), posisi 1 (b_1), dan pegas *absorber* 3 (Ka_3) ketika frekuensi natural sistem utama. Dengan paling rendahnya nilai amplitudo massa utama akibat kombinasi redaman dengan Ma_3 , b_1 , dan Ka_3 , berarti kombinasi ini merupakan yang terbaik dalam mereduksi getaran dibanding dua kombinasi lainnya.



Gambar 4. 22 Perbandingan *bode diagram* dengan kombinasi Ma_1 , Ma_2 , Ma_3 yang dipasangkan dengan b_1 dan K_a yang bervariasi

Bila gambar *bode diagram* 4.18 sampai 4.20 dijabarkan, maka dapat dilihat pengaruh dari perbedaan massa *absorber* yang digunakan pada tiap variasi pegas *absorber* pada posisi b_1 seperti terlihat pada gambar 4.21 di atas. Dari kombinasi-kombinasi tersebut, dapat dilihat bahwa grafik yang memiliki nilai terendah adalah grafik yang memiliki kombinasi rasio antara massa dan pegas *absorber* yang sama. Artinya, Ma_1 dapat meredam paling optimal pada saat dipasangkan Ka_1 seperti ditunjukkan grafik berwarna merah pada gambar 4.21 paling kiri. Begitu juga dengan Ma_2 yang dipasangkan dengan Ka_2 pada grafik berwarna hijau

pada gambar 4.21 tengah. Dan Ma_3 dengan Ka_3 pada grafik berwarna biru seperti pada gambar 4.21 paling kanan.

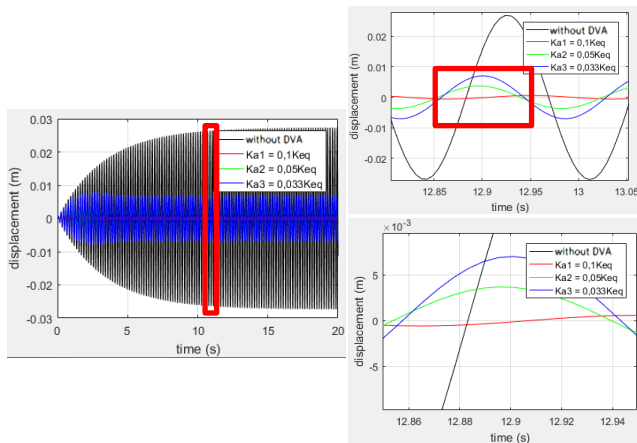
Menggunakan cara yang sama seperti di atas, dilakukan perhitungan frekuensi natural sistem dengan DVA, menggunakan data-data berupa variasi nilai massa *absorber* yang kedua dan ketiga ($Ma_2 = 0,175$ kg dan $Ma_3 = 0,11665$ kg) dengan variasi nilai pegas *absorber* pertama, kedua, dan ketiga ($Ka_1 = 5520,8$ N/m, $Ka_2 = 260,4$ N/m, $Ka_3 = 173,6$ N/m) dan variasi posisi DVA pertama, kedua, dan ketiga ($b_1 = 0$ m, $b_2 = 0,1$ m, $b_3 = 0,2$ m), akan didapat frekuensi natural dari masing-masing kombinasi yang dapat dilihat pada tabel di bagian lampiran.

Dari masing-masing kombinasi yang terdapat pada tabel tersebut dan frekuensi naturalnya, maka akan didapatkan *bode diagram* untuk tiap-tiap kondisi dengan cara yang sama seperti b1. *Bode diagram* dari masing-masing kondisi yang tidak tertera di atas dapat dilihat pada lampiran. Dari semua gambar *bode diagram* yang telah diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa kombinasi massa *absorber*, pegas *absorber*, dan posisi yang terbaik adalah kombinasi massa dan pegas *absorber* yang memiliki rasio yang sama terhadap massa dan pegas utama, serta posisi DVA yang terbaik adalah yang terjauh dari pusat massa. Untuk lebih detail seberapa besar getaran yang direduksi oleh DVA ini, akan ditinjau melalui RMS *displacement* dan *acceleration* pada arah translasi, serta RMS *angular displacement* dan *angular acceleration* pada arah rotasi.

4.3.2.2.1 Analisa Reduksi Respon Translasi

Pada analisa reduksi respon translasi, objek yang diteliti dalam penelitian ini adalah *displacement* dan *acceleration*. Dengan cara yang sama seperti pada variasi posisi, diperoleh hasil berupa RMS *displacement* sebesar 0,01848 m dan RMS *acceleration* sebesar 24,89 m/s² dari sistem tanpa DVA. Nilai tersebut kemudian direduksi dengan cara menginputkan variasi-variasi DVA yang digunakan pada penelitian ini dan dicari kombinasi variasi yang dapat mereduksi getaran paling optimal.

Berikut adalah tampilan respon *displacement* yang diwakilkan oleh kombinasi posisi DVA 1 (b1), massa *absorber* 1 (Ma1), dan variasi pegas *absorber* (Ka1, Ka2, Ka3).

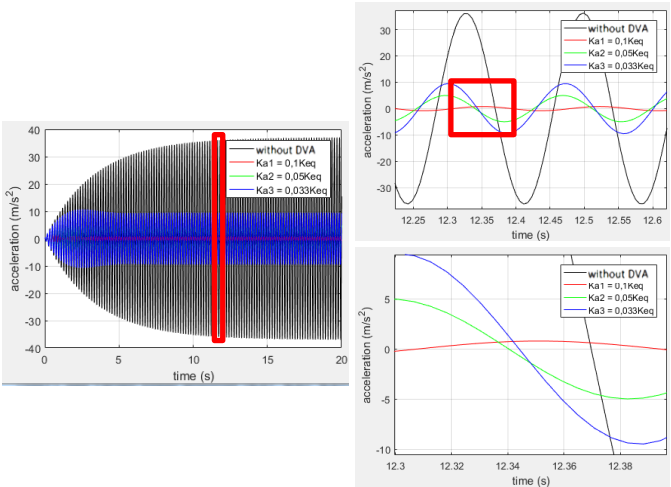


Gambar 4. 23 Respon *displacement* dengan kombinasi b1, Ma1, dan Ka bervariasi

Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *displacement* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di bagian lampiran.

Hal yang sama juga dilakukan pada respon *acceleration*. Simulasi sistem utama tanpa DVA dilakukan untuk mendapatkan respon *acceleration* dari sistem utama tanpa DVA. Kemudian diperoleh nilai RMS *acceleration* sebesar 24,89 m/s². Nilai tersebut merupakan objek yang harus direduksi. Untuk itu, dicari kombinasi massa *absorber* (Ma), pegas *absorber* (Ka), dan posisi DVA (b) yang mampu mereduksi paling baik. Berikut adalah tampilan respon *acceleration* yang diwakilkan oleh kombinasi

posisi DVA 1 (b1), massa *absorber* 1 (Ma1), dan variasi pegas *absorber* (Ka1, Ka2, Ka3).



Gambar 4. 24 Respon *acceleration* dengan kombinasi b1, Ma1, dan Ka bervariasi

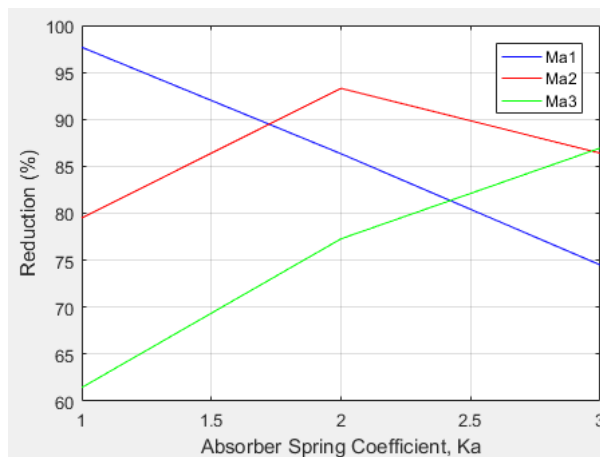
Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *acceleration* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 4. 4 Data-data RMS *acceleration* dan persen reduksinya

Acceleration					
b	Ma	Ka	sebelum	sesudah	Reduksi (%)
b1	Ma1	Ka1	24,89	0,5788	97,6745681
		Ka2	24,89	3,401	86,33587786

	Ka3	24,89	6,348	74,49578144
Ma2	Ka1	24,89	5,103	79,49779028
	Ka2	24,89	1,669	93,29449578
	Ka3	24,89	3,387	86,39212535
Ma3	Ka1	24,89	9,596	61,446364
	Ka2	24,89	5,655	77,28003214
	Ka3	24,89	3,249	86,94656489

Tabel 4.4 di atas merupakan tabel kombinasi posisi DVA 1 (b1), massa absorber yang bervariasi (Ma1, Ma2, dan Ma3), dan pegas *absorber* (Ka1, Ka2, dan Ka3) serta nilai RMS *acceleration* sebelum dan sesudah reduksi yang dilengkapi dengan nilai persen reduksinya. Dari data-data tersebut, kemudian diplot pada sebuah grafik, sehingga terlihat bagaimana pengaruh variasi nilai massa *absorber* dan pegas *absorber* yang terjadi ketika digunakan posisi DVA 1 (b1). Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.24 di bawah



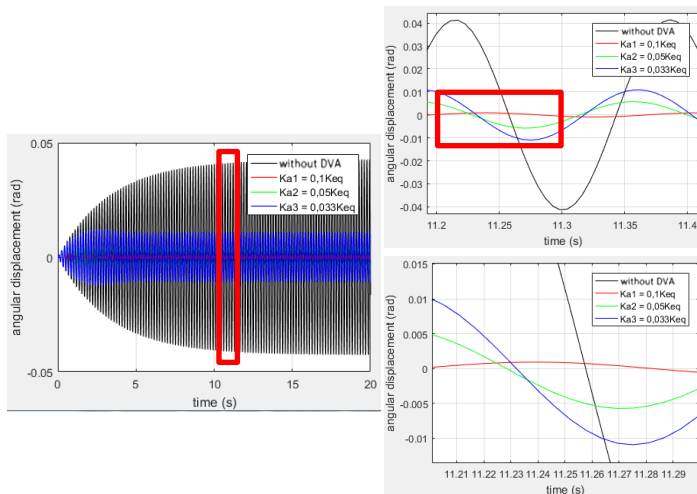
Gambar 4. 25 Grafik persen reduksi RMS *acceleration* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* di posisi DVA 1

Seperti terlihat pada gambar 4.24 di atas, bahwa grafik berwarna biru yang mewakili massa *absorber* 1 (Ma1), menghasilkan nilai persen reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna merah yang mewakili massa *absorber* 2 (Ma2) dan grafik berwarna hijau yang mewakili massa *absorber* 3 (Ka3), meskipun *trendline* yang dimiliki oleh grafik Ma1 semakin menurun seiring menurunnya nilai koefisien pegas *absorber*. Hal ini dapat dilihat pada puncak persen reduksi yang dihasilkan dari masing-masing grafik. Adanya penurunan *trendline* pada grafik di atas disebabkan oleh tidak cocoknya rasio antara massa *absorber* dan pegas *absorber* yang digunakan, sehingga mengurangi kemampuan dalam mereduksi getaran yang terjadi pada massa utama. Sama seperti pembahasan *bode diagram* maupun RMS lainnya, kondisi dimana persen reduksi mencapai titik maksimum dari tiap grafik berada pada saat rasio antara massa *absorber* terhadap massa utama serta pegas *absorber* terhadap pegas utama bernilai sama. Hal tersebut terlihat dari grafik Ma1 yang berwarna biru, yang mencapai nilai reduksi maksimum ketika dipasangkan dengan pegas *absorber* 1 (Ka1), dan seterusnya. Hal ini juga berlaku pada *displacement*.

Kombinasi-kombinasi yang tidak tertera di atas, meliputi posisi DVA (b2, b3, b4, dan b5), massa *absorber* (Ma1, Ma2, dan Ma3), dan pegas *absorber* (Ka1, Ka2, dan Ka3) yang terdiri dari : respon, tabel RMS beserta persen hasil reduksi, dan grafik reduksi dapat dilihat pada lampiran. Dari kedua pembahasan mengenai *displacement* dan *acceleration* di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai RMS dan persentase reduksi keduanya berbanding lurus. Sehingga grafik yang dihasilkan seperti identik dan memiliki pembahasan yang sama. Kombinasi massa *absorber* dan pegas *absorber* yang terbaik adalah kombinasi massa dan pegas *absorber* yang memiliki rasio yang sama terhadap massa dan pegas utama.

4.3.2.2.2 Analisa Reduksi Respon Rotasi

Pada analisa reduksi rotasi, objek yang diteliti dalam penelitian ini adalah *angular displacement* dan *angular acceleration*. Dengan cara yang sama seperti analisa reduksi translasi, dilakukan proses simulasi. Setelah simulasi dijalankan, maka akan didapat hasil berupa RMS *angular displacement* sebesar 0,02877 m dan RMS *angular acceleration* sebesar 38,74 rad/s² dari sistem tanpa DVA. Nilai tersebut kemudian direduksi dengan cara menginputkan variasi-variasi DVA yang digunakan pada penelitian ini dan dicari kombinasi variasi yang dapat mereduksi getaran paling optimal. Berikut adalah tampilan respon *angular displacement* yang diwakilkan oleh kombinasi posisi DVA 1 (b1), massa *absorber* 1 (Ma1), dan variasi pegas *absorber* (Ka1, Ka2, Ka3).

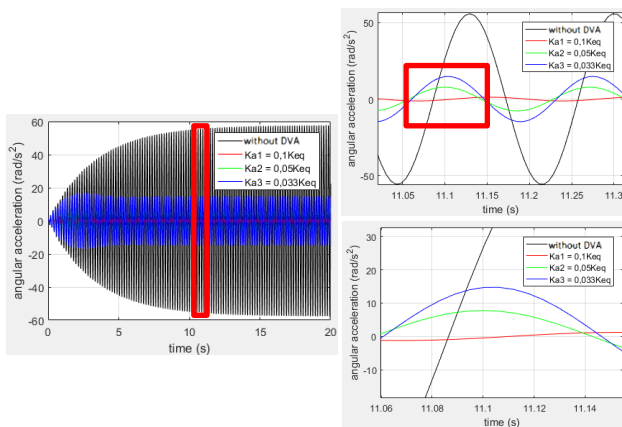


Gambar 4. 26 Respon *angular displacement* dengan kombinasi b1, Ma1, dan Ka bervariasi

Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *angular displacement* yang kemudian ditabelkan dan

dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di bagian lampiran dan memiliki pembahasan yang sama dengan *angular acceleration*.

Hal yang sama juga dilakukan pada respon *angular acceleration*. Simulasi sistem utama tanpa DVA dilakukan untuk mendapatkan respon *angular acceleration* dari sistem utama tanpa DVA. Kemudian diperoleh juga nilai RMS *angular acceleration* sebesar $38,74 \text{ rad/s}^2$. Nilai tersebut merupakan objek yang harus direduksi. Untuk itu, dicari kombinasi massa *absorber* (M_a), pegas *absorber* (K_a), dan posisi DVA (b) yang mampu mereduksi paling baik. Berikut adalah tampilan respon *angular acceleration* yang diwakilkan oleh kombinasi posisi DVA 1 (b_1), massa *absorber* 1 (M_{a1}), dan variasi pegas *absorber* (K_{a1} , K_{a2} , K_{a3}).



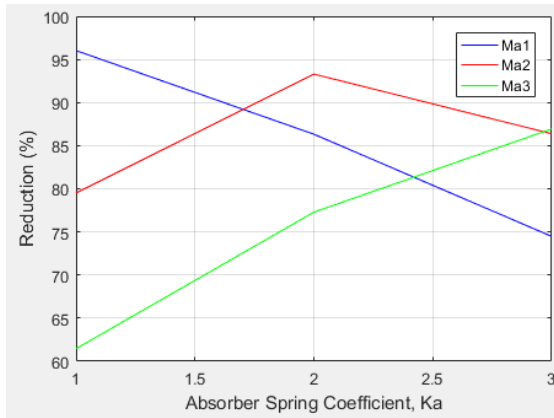
Gambar 4. 27 Respon *angular acceleration* dengan kombinasi b_1 , M_{a1} , dan K_a bervariasi

Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *angular acceleration* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 4. 5 Data-data RMS *angular acceleration* dan persen reduksinya

<i>Angular Acceleration</i>					
b	Ma	Ka	sebelum	sesudah	Reduksi (%)
b1	Ma1	Ka1	38,74	1,541	96,02219928
		Ka2	38,74	5,298	86,3242127
		Ka3	38,74	9,887	74,47857512
	Ma2	Ka1	38,74	7,938	79,50955085
		Ka2	38,74	2,598	93,29375323
		Ka3	38,74	5,276	86,38100155
	Ma3	Ka1	38,74	14,93	61,4610222
		Ka2	38,74	8,799	77,28704182
		Ka3	38,74	5,058	86,94372741

Tabel 4.5 di atas merupakan tabel kombinasi posisi DVA 1 (b1), massa absorber (Ma1, Ma, dan Ma3), dan pegas *absorber* (Ka1, Ka2, Ka3) serta nilai RMS sebelum dan sesudah reduksi beserta persen reduksinya. Data-data tersebut, kemudian diplot pada sebuah grafik, sehingga terlihat bagaimana pengaruh variasi nilai massa *absorber* dan pegas *absorber* yang terjadi ketika digunakan pada posisi DVA 1 (b1). Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.27 di bawah



Gambar 4. 28 Grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* yang digunakan pada posisi DVA 1 (b1)

Seperti terlihat pada gambar 4.27 di atas, bahwa grafik berwarna biru yang mewakili massa *absorber* 1 (Ma1), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna merah yang mewakili massa *absorber* 2 (Ma2) dan grafik berwarna hijau yang mewakili massa *absorber* 3 (Ka3), meskipun *trendline* yang dimiliki oleh grafik Ma1 semakin menurun seiring menurunnya nilai koefisien pegas *absorber*. Hal ini dapat dilihat pada puncak persen reduksi yang dihasilkan dari masing-masing grafik. Adanya penurunan *trendline* pada grafik di atas disebabkan oleh tidak cocoknya rasio antara massa *absorber* dan pegas *absorber* yang digunakan, sehingga mengurangi kemampuan dalam mereduksi getaran yang terjadi pada massa utama. Sama seperti pembahasan *bode diagram* maupun RMS lainnya, kondisi dimana persen reduksi mencapai titik maksimum dari tiap grafik berada pada saat rasio antara massa *absorber* terhadap massa utama serta pegas *absorber* terhadap pegas utama bernilai sama. Hal tersebut terlihat dari grafik Ma1 yang berwarna biru, yang mencapai nilai reduksi maksimum ketika dipasangkan

dengan pegas *absorber* 1 (K_{a1}), dan seterusnya. Hal tersebut juga berlaku untuk *angular displacement*.

Kombinasi-kombinasi yang tidak tertera di atas, meliputi massa *absorber* (M_{a2} dan M_{a3}), pegas *absorber* (K_{a1} , K_{a2} , dan K_{a3}), dan posisi (b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , dan b_5) yang terdiri dari : respon, tabel RMS beserta persen hasil reduksi, dan grafik reduksi dapat dilihat pada lampiran. Dari kedua pembahasan mengenai *angular displacement* dan *angular acceleration* di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai RMS dan persentase reduksi keduanya berbanding lurus. Sehingga grafik yang dihasilkan tampak seperti identik.

4.3.2.3 Analisa Sistem Utama dengan Variasi Massa DVA (k_a dan b tetap)

Untuk mendapatkan hasil yang lebih detail, maka pengambilan data pada variasi posisi ditambahkan menjadi lima kali (0 m; 0,05 m; 0,1 m; 0,15 m; 0,2 m). Namun hal tersebut hanya dilakukan untuk mendapatkan nilai RMS. Hal tersebut tidak berlaku untuk mencari frekuensi natural dan lain sebagainya. Untuk itu, data yang digunakan untuk mencari frekuensi natural dan *bode diagram* sama seperti data awal, sedangkan cara yang digunakan juga sama seperti sistem tanpa DVA. Menggunakan persamaan matriks sistem utama dengan DVA, sehingga didapat matriks sebagai berikut.

Dengan : $k_{a1} = k_{a2} = 520,8 \text{ N/m}$;

$b_1 = 0 \text{ m}$; dan variasi M_a ;

$M_{a1} = 0,35 \text{ kg}$; $M_{a2} = 0,175 \text{ kg}$; $M_{a3} = 0,11665 \text{ kg}$

Maka dengan nilai M_{a1} berlaku :

$$\det \begin{bmatrix} 11605,6 - 7\omega^2 & -520,8 & -520,8 & -707,5 \\ -520,8 & 520,8 - 0,35\omega^2 & 0 & 0 \\ -520,8 & 0 & 520,8 - 0,35\omega^2 & 0 \\ -707,5 & 0 & 0 & 650,875 - 0,14583\omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Sehingga didapat :

$$\omega_{n1} = 32,1061 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 44,1166 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 38,5746 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 68,0596 \text{ rad/s}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, menggunakan nilai M_{a2} , maka didapat :

$$\omega_{n1} = 35,3409 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 56,61 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 54,5527 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 68,1434 \text{ rad/s}$$

Dan menggunakan nilai M_{a3} , akan didapat :

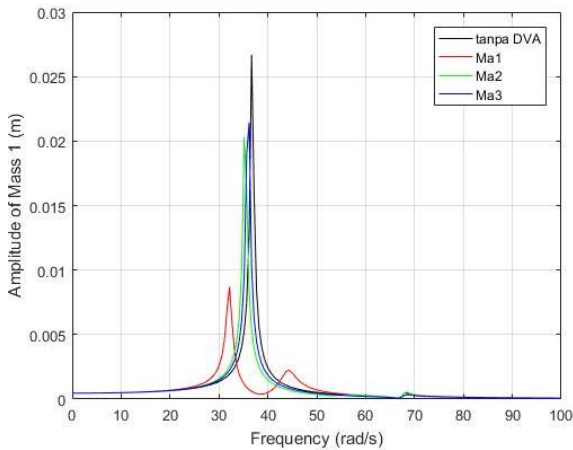
$$\omega_{n1} = 35,9684 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 66,8179 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 66,8119 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 69,4857 \text{ rad/s}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 29 *Bode diagram* sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA K_{a1} , b_1 , M_a bervariasi

Dapat dilihat pada gambar 4.28 di atas bahwa nilai yang ditunjukkan grafik warna biru yang merupakan kombinasi pegas *absorber* 1 (K_{a1}), posisi DVA 1 (b_1), dan massa *absorber* 1 (M_a) lebih kecil dari grafik warna hijau yang merupakan

kombinasi pegas *absorber* 1 (K_{a1}), posisi DVA 1 (b_1), dan massa *absorber* 2 (M_{a2}) dan grafik warna biru yang merupakan kombinasi pegas *absorber* 1 (M_{a1}), posisi DVA 1 (b_1), dan massa *absorber* 3 (M_{a3}) ketika frekuensi natural sistem utama. Dengan rendahnya nilai amplitudo massa utama yang mendekati nilai 0 akibat kombinasi redaman dengan K_{a1} , b_1 , dan M_{a1} , berarti kombinasi ini merupakan yang terbaik dalam mereduksi getaran dibanding dua kombinasi lainnya.

Dengan : $k_{a1} = k_{a2} = 520,8 \text{ N/m}$;
 $b_2 = 0,1 \text{ m}$; dan variasi M_a ;
 $M_{a1} = 0,35 \text{ kg}$; $M_{a2} = 0,175 \text{ kg}$; $M_{a3} = 0,11665 \text{ kg}$

Maka dengan nilai M_{a1} berlaku :

$$\det \begin{bmatrix} 11605,6 - 7\omega^2 & -520,8 & -520,8 & -603,34 \\ -520,8 & 520,8 - 0,35\omega^2 & 0 & -52,08 \\ -520,8 & 0 & 520,8 - 0,35\omega^2 & -52,08 \\ -603,34 & -52,08 & -52,08 & 661,291 - 0,14583\omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Sehingga didapat :

$$\begin{aligned} \omega_{n1} &= 31,3080 \text{ rad/s} & \omega_{n3} &= 45,0551 \text{ rad/s} \\ \omega_{n2} &= 38,5746 \text{ rad/s} & \omega_{n4} &= 68,3408 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

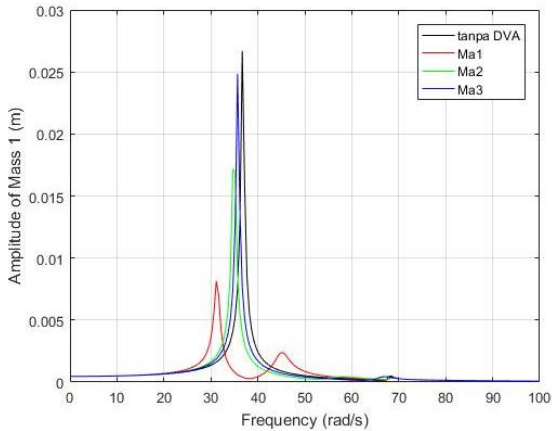
Dengan cara yang sama seperti di atas, menggunakan nilai M_{a2} , maka didapat :

$$\begin{aligned} \omega_{n1} &= 34,9194 \text{ rad/s} & \omega_{n3} &= 56,8286 \text{ rad/s} \\ \omega_{n2} &= 54,5527 \text{ rad/s} & \omega_{n4} &= 68,7005 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Dan menggunakan nilai M_{a3} , akan didapat :

$$\begin{aligned} \omega_{n1} &= 35,7153 \text{ rad/s} & \omega_{n3} &= 66,8179 \text{ rad/s} \\ \omega_{n2} &= 65,6524 \text{ rad/s} & \omega_{n4} &= 71,214 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 30 *Bode diagram* sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA K_{a1} , b_2 , M_{a1} bervariasi

Dari gambar 4.29 di atas dapat kita ketahui bahwa nilai yang ditunjukkan grafik warna merah yang merupakan kombinasi pegas *absorber* 1 (K_{a1}), posisi DVA 2 (b_2), dan massa *absorber* 1 (M_{a1}) lebih kecil dari grafik warna hijau yang merupakan kombinasi pegas *absorber* 1 (K_{a1}), posisi DVA 2 (b_2), dan massa *absorber* 2 (M_{a2}) dan grafik warna merah yang merupakan kombinasi pegas *absorber* 1 (K_{a1}), posisi 2 (b_2), dan massa *absorber* 3 (M_{a3}) ketika frekuensi natural sistem utama. Dengan paling rendahnya nilai amplitudo massa utama akibat kombinasi redaman dengan K_{a1} , b_2 , dan M_{a1} , berarti kombinasi ini merupakan yang terbaik dalam mereduksi getaran dibanding dua kombinasi lainnya.

Dengan : $k_{a1} = k_{a2} = 520,8 \text{ N/m}$;

$b_3 = 0,2 \text{ m}$; dan variasi M_a ;

$M_{a1} = 0,35 \text{ kg}$; $M_{a2} = 0,175 \text{ kg}$; $M_{a3} = 0,11665 \text{ kg}$

Maka dengan nilai M_{a1} berlaku :

$$\det \begin{bmatrix} 11605,6 - 7\omega^2 & -520,8 & -520,8 & -499,18 \\ -520,8 & 520,8 - 0,35\omega^2 & 0 & -104,16 \\ -520,8 & 0 & 520,8 - 0,35\omega^2 & -104,16 \\ -499,18 & -104,16 & -104,16 & 692,539 - 0,14583\omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Sehingga didapat :

$$\omega_{n1} = 30,3373 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 45,2845 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 38,5746 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 70,1702 \text{ rad/s}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas, menggunakan nilai M_{a2} , maka didapat :

$$\omega_{n1} = 34,4139 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 55,1852 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 54,5527 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 71,7855 \text{ rad/s}$$

Dan menggunakan nilai M_{a3} , akan didapat :

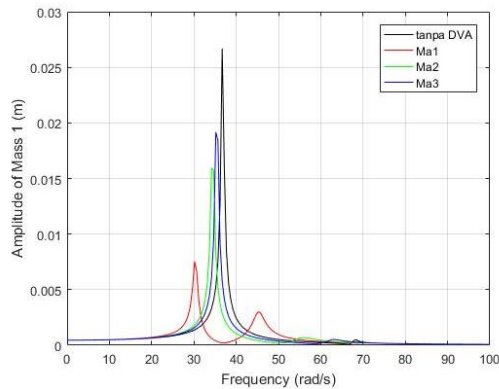
$$\omega_{n1} = 35,4145 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n3} = 66,8179 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n2} = 62,1656 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{n4} = 75,8470 \text{ rad/s}$$

Dengan menggunakan *software* Matlab, maka diperoleh *bode diagram* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 31 *Bode diagram* sistem utama tanpa DVA dan dengan kombinasi DVA Ka1, b3, Ma bervariasi

Gambar 4.30 di atas merupakan perbandingan *bode diagram* dengan kombinasi $Ka1$, $b3$, dan Ma yang bervariasi. Dari gambar tersebut dapat kita lihat bahwa nilai yang ditunjukkan grafik warna merah yang merupakan kombinasi pegas *absorber* 1 ($Ka1$), posisi 3 ($b3$), dan massa *absorber* 1 ($b1$) lebih kecil dari grafik warna hijau yang merupakan kombinasi pegas *absorber* 1 ($Ka1$), posisi 3 ($b3$), dan massa *absorber* 2 ($Ma2$) dan grafik warna biru yang merupakan kombinasi pegas *absorber* 1 ($Ka1$), posisi 3 ($b3$), dan massa *absorber* 3 ($Ma3$) ketika frekuensi natural sistem utama. Dengan paling rendahnya nilai amplitudo massa utama akibat kombinasi redaman dengan $Ka1$, $b3$, dan $Ma1$, berarti kombinasi ini merupakan yang terbaik dalam mereduksi getaran dibanding dua kombinasi lainnya.

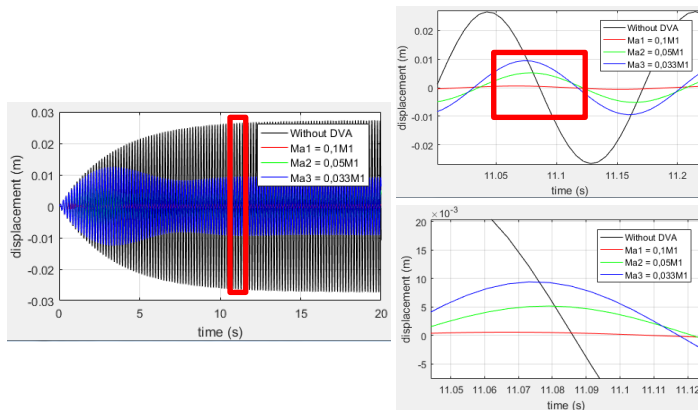
Menggunakan cara yang sama seperti di atas, dilakukan perhitungan frekuensi natural sistem dengan DVA, menggunakan data-data berupa variasi nilai massa *absorber* yang kedua dan ketiga ($Ma2 = 0,175$ kg dan $Ma3 = 0,11665$ kg) dengan variasi nilai pegas *absorber* pertama, kedua, dan ketiga ($Ka1 = 5520,8$ N/m, $Ka2 = 260,4$ N/m, $Ka3 = 173,6$ N/m) dan variasi posisi DVA pertama, kedua, dan ketiga ($b1 = 0$ m, $b2 = 0,1$ m, $b3 = 0,2$ m), akan didapat frekuensi natural dari masing-masing kombinasi yang dapat dilihat pada tabel yang tertera di bagian lampiran.

Dari masing-masing kombinasi yang terdapat pada tabel di atas dan frekuesinya, maka akan didapatkan *bode diagram* untuk tiap-tiap kondisi dengan cara yang sama seperti $Ka1$. *Bode diagram* dari masing-masing kondisi yang tidak tertera di atas dapat dilihat pada lampiran. Dari semua gambar *bode diagram* yang telah diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa kombinasi massa *absorber*, pegas *absorber*, dan posisi yang terbaik adalah kombinasi massa dan pegas *absorber* yang memiliki rasio yang sama terhadap massa dan pegas utama, serta posisi DVA yang terbaik adalah yang terjauh dari pusat massa. Untuk lebih detail seberapa besar getaran yang direduksi oleh DVA ini, akan ditinjau melalui *RMS displacement* dan *acceleration* pada arah

translasi, serta RMS *angular displacement* dan *angular acceleration* pada arah rotasi.

4.3.2.3.1 Analisa Reduksi Respon Translasi

Pada analisa reduksi respon translasi, objek yang diteliti dalam penelitian ini adalah *displacement* dan *acceleration*. Dengan cara yang sama seperti pada variasi posisi, diperoleh hasil berupa RMS *displacement* sebesar 0,01848 m dan RMS *acceleration* sebesar 24,89 m/s² dari sistem tanpa DVA. Nilai tersebut kemudian direduksi dengan cara menginputkan variasi-variasi DVA yang digunakan pada penelitian ini dan dicari kombinasi variasi yang dapat mereduksi getaran paling optimal. Berikut adalah tampilan respon *displacement* yang diwakilkan oleh kombinasi pegas *absorber* 1 (Ka1), posisi DVA 1 (b1), dan variasi pegas *absorber* (Ma1, Ma2, dan Ma3).



Gambar 4. 32 Respon *displacement* dengan kombinasi Ka1, b1, dan Ma bervariasi

Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *displacement* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah

disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah.

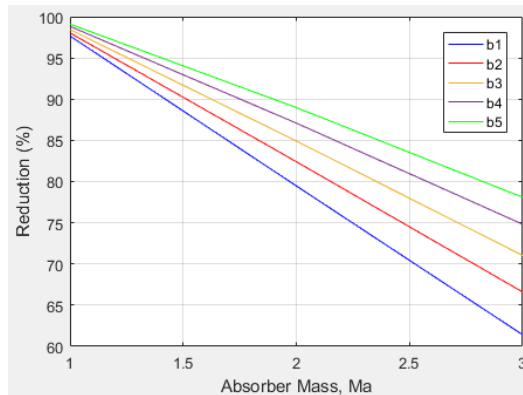
Tabel 4. 6 Data-data RMS *displacement* dan persen reduksinya

<i>Displacement</i>					
Ka	b	Ma	sebelum	sesudah	Reduksi (%)
Ka1	b1	Ma1	0,01848	0,0004323	97,66071429
		Ma2	0,01848	0,003794	79,46969697
		Ma3	0,01848	0,007131	61,41233766
	b2	Ma1	0,01848	0,0003619	98,04166667
		Ma2	0,01848	0,003251	82,40800866
		Ma3	0,01848	0,006172	66,6017316
	b3	Ma1	0,01848	0,0002871	98,44642857
		Ma2	0,01848	0,002787	84,91883117
		Ma3	0,01848	0,005354	71,02813853
	b4	Ma1	0,01848	0,0002169	98,8262987
		Ma2	0,01848	0,002386	87,08874459
		Ma3	0,01848	0,004653	74,82142857
	b5	Ma1	0,01848	0,000165	99,10714286
		Ma2	0,01848	0,002037	88,97727273
		Ma3	0,01848	0,004049	78,08982684
Ka2	b1	Ma1	0,01848	0,002524	86,34199134
		Ma2	0,01848	0,00124	93,29004329
		Ma3	0,01848	0,004202	77,26190476
	b2	Ma1	0,01848	0,002213	88,02489177
		Ma2	0,01848	0,001066	94,23160173
		Ma3	0,01848	0,003625	80,38419913

	b3	Ma1	0,01848	0,001977	89,30194805
		Ma2	0,01848	0,0009088	95,08225108
		Ma3	0,01848	0,00313	83,06277056
	b4	Ma1	0,01848	0,0018	90,25974026
		Ma2	0,01848	0,0007698	95,83441558
		Ma3	0,01848	0,002701	85,38419913
	b5	Ma1	0,01848	0,001666	90,98484848
		Ma2	0,01848	0,0006491	96,48755411
		Ma3	0,01848	0,002327	87,40800866
Ka3	b1	Ma1	0,01848	0,004713	74,49675325
		Ma2	0,01848	0,002515	86,39069264
		Ma3	0,01848	0,002414	86,93722944
	b2	Ma1	0,01848	0,004177	77,39718615
		Ma2	0,01848	0,002212	88,03030303
		Ma3	0,01848	0,002098	88,64718615
	b3	Ma1	0,01848	0,003742	79,75108225
		Ma2	0,01848	0,001974	89,31818182
		Ma3	0,01848	0,001823	90,13528139
	b4	Ma1	0,01848	0,003387	81,67207792
		Ma2	0,01848	0,001788	90,32467532
		Ma3	0,01848	0,001586	91,41774892
	b5	Ma1	0,01848	0,003097	83,24134199
		Ma2	0,01848	0,001642	91,11471861
		Ma3	0,01848	0,00138	92,53246753

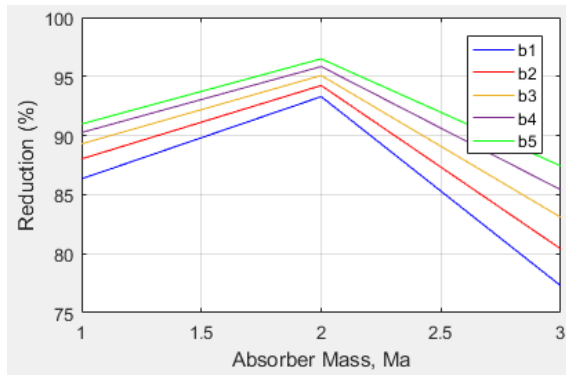
Tabel 4.6 di atas merupakan tabel kombinasi pegas *absorber* (Ka1, Ka2, dan Ka3), posisi DVA (b1, b2, b3, b4 dan b5), dan massa absorber yang bervariasi (Ma1, Ma2, dan Ma3). Dari data-data tersebut, kemudian diplot pada sebuah grafik,

sehingga terlihat bagaimana pengaruh variasi nilai posisi DVA dan massa *absorber* yang terjadi ketika digunakan pada posisi DVA tertentu. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.32 di bawah.



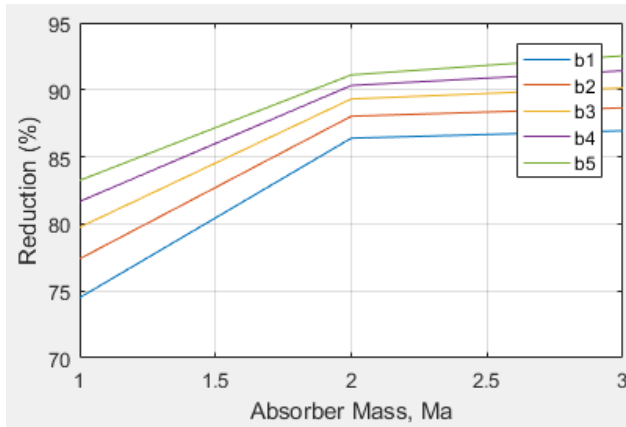
Gambar 4. 33 Grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 1

Seperti terlihat pada gambar 4.32 di atas, bahwa grafik berwarna hijau yang mewakili posisi DVA 5 (b5), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna ungu yang mewakili posisi DVA 4 (b4), grafik berwarna oranye yang mewakili posisi DVA 3 (b3), grafik berwarna merah yang mewakili posisi DVA 2 (b2), dan grafik berwarna biru yang mewakili posisi DVA 1 (b1). Meski begitu, tiap-tiap posisi DVA tersebut memiliki kemampuan yang sangat baik ketika digunakan dengan massa *absorber* 1 (Ma1). Hal itu dapat terlihat dimana puncak reduksi berada pada titik massa absorber 1 (Ma1), walau semuanya menunjukkan *trendline* yang menurun seiring berkurangnya nilai dari massa *absorber* yang digunakan.



Gambar 4. 34 Grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 2

Dari gambar 4.33 di atas, dapat dilihat bahwa grafik berwarna hijau yang mewakili posisi DVA 5 (b5), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna ungu yang mewakili posisi DVA 4 (b4), grafik berwarna oranye yang mewakili posisi DVA 3 (b3), grafik berwarna merah yang mewakili posisi DVA 2 (b2), dan grafik berwarna biru yang mewakili posisi DVA 1 (b1). Meski begitu, tiap-tiap posisi DVA tersebut memiliki kemampuan yang sangat baik ketika digunakan dengan massa *absorber* 2 (Ma_2). Hal itu dapat terlihat dimana puncak reduksi tiap grafik berada pada titik massa *absorber* 2 (Ma_2), yang membuat *trendline* parabolik. Pada massa *absorber* 1 (Ma_1) dan 3 (Ma_3) nilai reduksi lebih rendah karena rasio massa *absorber* dan pegas *absorber* terhadap massa dan pegas utama tidak sesuai sehingga kemampuannya mereduksinya menjadi kurang optimal.

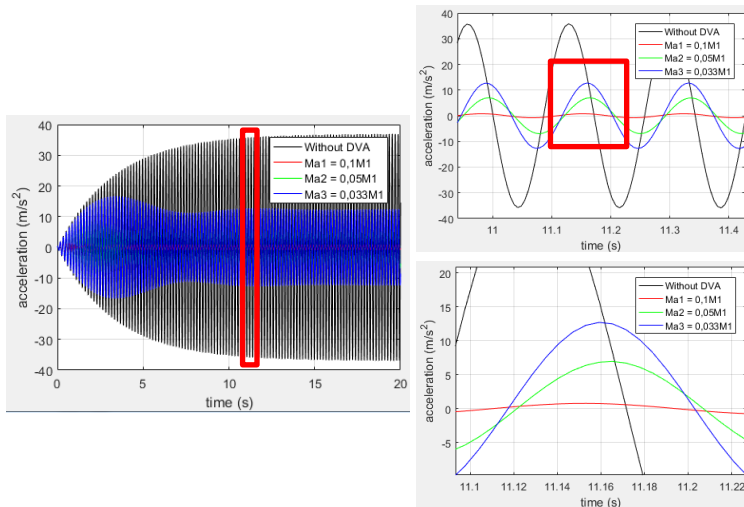


Gambar 4.35 Grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber 3*

Seperti terlihat pada gambar 4.34 di atas, bahwa grafik berwarna hijau yang mewakili posisi DVA 5 (b5), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna ungu yang mewakili posisi DVA 4 (b4), grafik berwarna oranye yang mewakili posisi DVA 3 (b3), grafik berwarna merah yang mewakili posisi DVA 2 (b2), dan grafik berwarna biru yang mewakili posisi DVA 1 (b1). Meski begitu, tiap-tiap posisi DVA tersebut memiliki kemampuan yang sangat baik ketika digunakan dengan massa *absorber 3* (Ma3). Hal itu dapat terlihat dimana puncak reduksi berada pada titik massa absorber 3 (Ma3), yang menunjukkan *trendline* naik akibat rasio massa dan pegas *absorber* yang digunakan sesuai dengan massa dan pegas *absorber* pada titik massa *absorber 3* (Ma3).

Hal yang sama juga dilakukan pada respon *acceleration*. Simulasi sistem utama tanpa DVA dilakukan untuk mendapatkan respon *acceleration* dari sistem utama tanpa DVA. Kemudian diperoleh nilai RMS *acceleration* sebesar 24,89 m/s². Nilai tersebut merupakan objek yang harus direduksi. Untuk itu, dicari

kombinasi massa *absorber* (Ma), pegas *absorber* (Ka), dan posisi DVA (b) yang mampu mereduksi paling baik. Berikut adalah tampilan respon *displacement* yang diwakilkan oleh kombinasi pegas *absorber* 1 ($Ka1$), posisi DVA 1 ($b1$), dan variasi pegas *absorber* ($Ma1$, $Ma2$, dan $Ma3$).



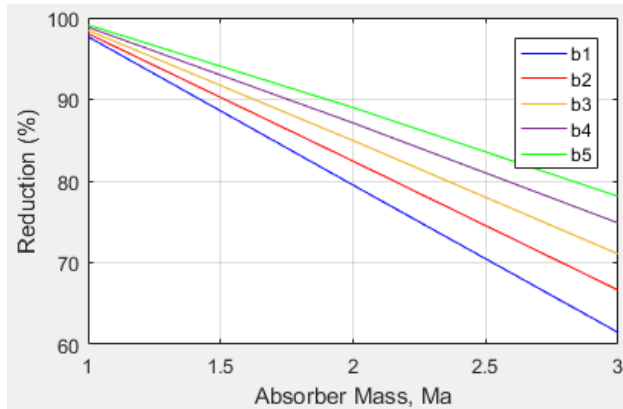
Gambar 4. 36 Respon *acceleration* dengan kombinasi $Ka1$, $b1$, dan Ma bervariasi

Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *acceleration* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 7 Data-data RMS *acceleration* dan persen reduksinya

<i>Acceleration</i>					
Ka	b	Ma	sebelum	sesudah	Reduksi (%)
Ka1	b1	Ma1	24,89	0,5788	97,6745681
		Ma2	24,89	5,103	79,49779028
		Ma3	24,89	9,596	61,446364
	b2	Ma1	24,89	0,484	98,05544395
		Ma2	24,89	4,372	82,43471274
		Ma3	24,89	8,305	66,63318602
	b3	Ma1	24,89	0,3832	98,46042587
		Ma2	24,89	3,747	84,94576135
		Ma3	24,89	7,203	71,06066693
	b4	Ma1	24,89	0,2885	98,84089996
		Ma2	24,89	3,208	87,11128967
		Ma3	24,89	6,259	74,85335476
	b5	Ma1	24,89	0,2188	99,1209321
		Ma2	24,89	2,739	88,99558055
		Ma3	24,89	5,446	78,1197268

Tabel 4.7 di atas merupakan tabel kombinasi pegas *absorber* (Ka1, Ka2, dan Ka3), posisi DVA (b1, b2, b3, b4 dan b5), dan massa absorber yang bervariasi (Ma1, Ma2, dan Ma3). Dari data-data tersebut, kemudian diplot pada sebuah grafik, sehingga terlihat bagaimana pengaruh variasi nilai posisi DVA dan massa *absorber* yang terjadi ketika digunakan pada posisi DVA tertentu. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.36 di bawah.



Gambar 4. 37 Grafik persen reduksi RMS *acceleration* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 1

Seperti terlihat pada gambar 4.36 di atas, bahwa grafik berwarna hijau yang mewakili posisi DVA 5 (b5), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna ungu yang mewakili posisi DVA 4 (b4), grafik berwarna oranye yang mewakili posisi DVA 3 (b3), grafik berwarna merah yang mewakili posisi DVA 2 (b2), dan grafik berwarna biru yang mewakili posisi DVA 1 (b1). Meski begitu, tiap-tiap posisi DVA tersebut memiliki kemampuan yang sangat baik ketika digunakan dengan massa *absorber* 1 (M_{a1}). Hal itu dapat terlihat dimana puncak reduksi berada pada titik massa absorber 1 (M_{a1}), walau semuanya menunjukkan *trendline* persen reduksi yang menurun seiring berkurangnya nilai dari massa *absorber* yang digunakan akibat tidak cocoknya rasio massa dan pegas *absorber* terhadap massa dan pegas utama.

Berdasarkan data dan grafik yang diperoleh dari hasil simulasi, dapat kita ketahui bahwa persen reduksi terbesar dicapai pada nilai 99,1%. Nilai tersebut mendekati 100% yang berarti hampir sempurna. Hal ini disebabkan oleh karakter dari DVA itu sendiri. Dimana, DVA memiliki kemampuan meredam getaran

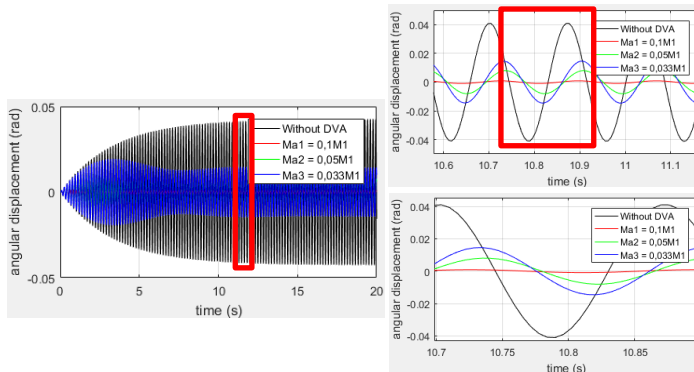
dengan sangat baik pada frekuensi tertentu. Karena karakternya tersebut, DVA digunakan khusus untuk meredam getaran yang terjadi pada frekuensi operasi yang sama dengan frekuensi natural dari sistem itu sendiri. Dengan kombinasi massa, pegas, dan posisi yang baik, maka kemampuannya dalam meredam getaran menjadi sangat optimal, sehingga persen reduksinya menjadi sangat besar.

Tabel data dan gambar grafik persen reduksi RMS *acceleration* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 2 dan 3 tidak dicantumkan pada bagian ini, namun tertera di bagian lampiran karena sangat mirip serta memiliki pembahasan yang sama dengan gambar grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 2 dan 3. Di samping itu, baik hasil, *trendline* dan penjelasannya juga sangat identik. Dari kedua pembahasan mengenai *displacement* dan *acceleration* di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai RMS dan persentase reduksi keduanya berbanding lurus. Sehingga grafik yang dihasilkan tampak mirip. Kombinasi massa *absorber* dan pegas *absorber* yang terbaik adalah kombinasi massa dan pegas *absorber* yang memiliki rasio yang sama terhadap massa dan pegas utama.

4.3.2.3.2 Analisa Reduksi Respon Rotasi

Pada analisa reduksi rotasi, objek yang diteliti dalam penelitian ini adalah *angular displacement* dan *angular acceleration*. Dengan cara yang sama seperti analisa reduksi translasi, dilakukan proses simulasi. Setelah simulasi dijalankan, maka akan didapat hasil berupa RMS *angular displacement* sebesar 0,02877 m dan RMS *angular acceleration* sebesar 38,74 rad/s² dari sistem tanpa DVA. Nilai tersebut kemudian direduksi dengan cara menginputkan variasi-variasi DVA yang digunakan pada penelitian ini dan dicari kombinasi variasi yang dapat mereduksi getaran paling optimal. Berikut adalah tampilan respon *displacement* yang diwakilkan oleh kombinasi pegas *absorber* 1

(Ka1), posisi DVA 1 (b1), dan variasi pegas *absorber* (Ma1, Ma2, dan Ma3).



Gambar 4. 38 Respon *angular displacement* dengan kombinasi Ka1, b1, dan Ma bervariasi

Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *angular displacement* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah.

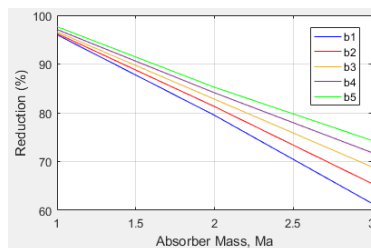
Tabel 4. 8 Data-data RMS *angular displacement* dan persen reduksinya

Angular Displacement					
Ka	b	Ma	sebelum	sesudah	Reduksi (%)
Ka1	b1	Ma1	0,02877	0,001148	96,00973236
		Ma2	0,02877	0,005902	79,48557525
		Ma3	0,02877	0,0111	61,4181439
	b2	Ma1	0,02877	0,001074	96,26694473

			Ma2	0,02877	0,005387	81,27563434
			Ma3	0,02877	0,009933	65,47445255
		b3	Ma1	0,02877	0,0009731	96,61765728
			Ma2	0,02877	0,004949	82,79805353
			Ma3	0,02877	0,008946	68,90510949
		b4	Ma1	0,02877	0,0008385	97,08550574
			Ma2	0,02877	0,004573	84,10497046
			Ma3	0,02877	0,008105	71,82829336
		b5	Ma1	0,02877	0,0006713	97,66666667
			Ma2	0,02877	0,004247	85,23809524
			Ma3	0,02877	0,007386	74,3274244
		Ka2	b1	Ma1	0,02877	0,003931
Ma2	0,02877			0,00193	93,29162322	
Ma3	0,02877			0,00654	77,26798749	
b2	Ma1		0,02877	0,003169	88,98505388	
	Ma2		0,02877	0,001871	93,49669795	
	Ma3		0,02877	0,005952	79,31178311	
b3	Ma1		0,02877	0,002561	91,09836635	
	Ma2		0,02877	0,001828	93,64615919	
	Ma3		0,02877	0,005452	81,04970455	
b4	Ma1		0,02877	0,002074	92,79110184	
	Ma2		0,02877	0,001792	93,77128954	
	Ma3		0,02877	0,005023	82,54084115	
b5	Ma1		0,02877	0,00168	94,16058394	
	Ma2		0,02877	0,001759	93,88599235	
	Ma3		0,02877	0,004651	83,83385471	
Ka3	b1		Ma1	0,02877	0,007338	74,49426486
			Ma2	0,02877	0,003916	86,38859924
			Ma3	0,02877	0,003757	86,94125826

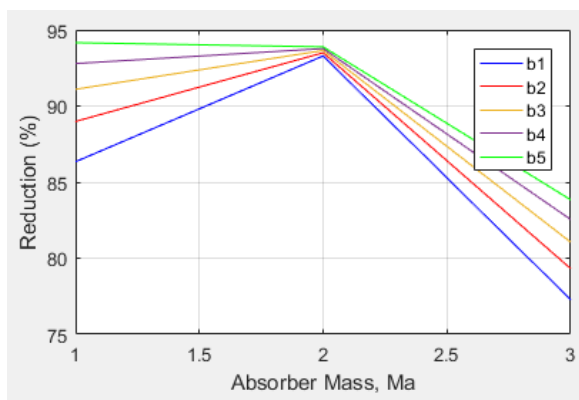
		Ma1	0,02877	0,006251	78,27250608
	b2	Ma2	0,02877	0,003267	88,64442127
		Ma3	0,02877	0,003446	88,02224539
	b3	Ma1	0,02877	0,005346	81,4181439
		Ma2	0,02877	0,002751	90,4379562
		Ma3	0,02877	0,003187	88,9224887
	b4	Ma1	0,02877	0,004589	84,04935697
		Ma2	0,02877	0,002339	91,87000348
		Ma3	0,02877	0,002972	89,66979493
	b5	Ma1	0,02877	0,003952	86,26346889
		Ma2	0,02877	0,00201	93,01355579
		Ma3	0,02877	0,00279	90,30239833

Tabel 4.8 di atas merupakan tabel kombinasi pegas *absorber* (Ka1, Ka2, dan Ka3), posisi DVA (b1, b2, b3, b4 dan b5), dan massa *absorber* yang bervariasi (Ma1, Ma2, dan Ma3). Dari data-data tersebut, kemudian diplot pada sebuah grafik, sehingga terlihat bagaimana pengaruh variasi nilai posisi DVA dan massa *absorber* yang terjadi ketika digunakan pada posisi DVA tertentu. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.38 di bawah.



Gambar 4. 39 Grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 1

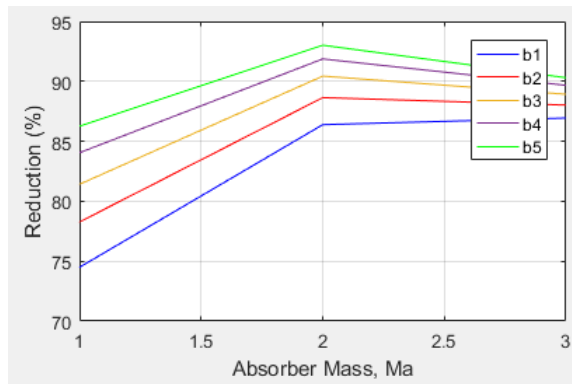
Seperti terlihat pada gambar 4.38 di atas, bahwa grafik berwarna hijau yang mewakili posisi DVA 5 (b5), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna ungu yang mewakili posisi DVA 4 (b4), grafik berwarna oranye yang mewakili posisi DVA 3 (b3), grafik berwarna merah yang mewakili posisi DVA 2 (b2), dan grafik berwarna biru yang mewakili posisi DVA 1 (b1) pada massa *absorber* 1. Setiap grafik tersebut mempunyai *trendline* yang menurun dan ketika digunakan dengan massa *absorber* 1, kemampuan meredamnya sangat maksimal dan memiliki selisih nilai antar grafik yang sedikit bahkan berhimpitan. Sedangkan ketika digunakan dengan massa *absorber* 3, selisihnya menjadi jauh. Hal tersebut dipengaruhi oleh rasio massa dan pegas *absorber* terhadap massa dan pegas utama seperti pada pembahasan sebelumnya.



Gambar 4. 40 Grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 2

Dari gambar 4.39 di atas, dapat dilihat bahwa grafik berwarna hijau yang mewakili posisi DVA 5 (b5), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna ungu yang mewakili posisi DVA 4 (b4), grafik berwarna oranye yang mewakili posisi DVA 3 (b3), grafik berwarna merah yang

mewakili posisi DVA 2 (b2), dan grafik berwarna biru yang mewakili posisi DVA 1 (b1). Meski begitu, tiap-tiap posisi DVA tersebut memiliki kemampuan yang sangat baik ketika digunakan dengan massa *absorber* 2 (Ma2). Hal itu dapat terlihat dimana puncak reduksi tiap grafik berada pada titik massa absorber 2 (Ma2), yang membuat *trendline* parabolik. Pada massa *absorber* 1 (Ma1) dan 3 (Ma3) nilai reduksi lebih rendah karena rasio massa *absorber* dan pegas *absorber* terhadap massa dan pegas utama tidak sesuai sehingga kemampuannya mereduksinya menjadi kurang optimal.

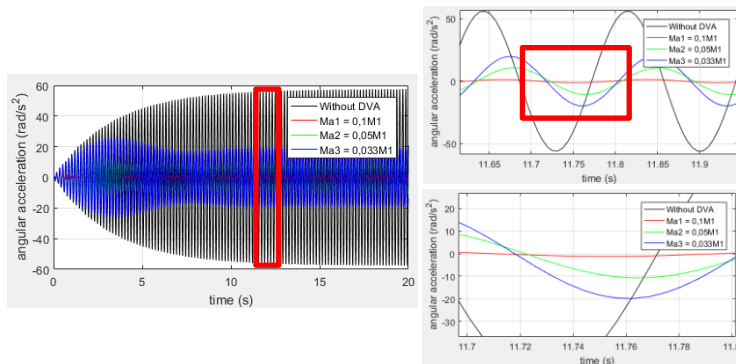


Gambar 4. 41 Grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 3

Seperti terlihat pada gambar 4.40 di atas, bahwa grafik berwarna hijau yang mewakili posisi DVA 5 (b5), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna ungu yang mewakili posisi DVA 4 (b4), grafik berwarna oranye yang mewakili posisi DVA 3 (b3), grafik berwarna merah yang mewakili posisi DVA 2 (b2), dan grafik berwarna biru yang mewakili posisi DVA 1 (b1). Meski begitu, tiap-tiap posisi DVA tersebut memiliki kemampuan yang sangat baik ketika digunakan dengan massa *absorber* 2 (Ma2). Hal itu dapat terlihat dimana

puncak reduksi dari masing-masing posisi berada pada titik massa absorber 2 (Ma_2). Hal ini disebabkan karena massa *absorber* 3 yang terlalu ringan memiliki kemampuan mereduksi getaran yang kurang baik dibanding massa *absorber* 2 yang lebih optimal.

Hal yang sama juga dilakukan pada respon *angular acceleration*. Simulasi sistem utama tanpa DVA dilakukan untuk mendapatkan respon *angular acceleration* dari sistem utama tanpa DVA. Kemudian diperoleh juga nilai RMS *angular acceleration* sebesar $38,74 \text{ rad/s}^2$. Nilai tersebut merupakan objek yang harus direduksi. Untuk itu, dicari kombinasi massa *absorber* (Ma), pegas *absorber* (Ka), dan posisi DVA (b) yang mampu mereduksi paling baik. Berikut adalah tampilan respon *angular acceleration* yang diwakilkan oleh kombinasi pegas *absorber* 1 (Ka_1), posisi DVA 1 (b_1), dan variasi pegas *absorber* (Ma_1 , Ma_2 , dan Ma_3).



Gambar 4. 42 Respon *angular acceleration* dengan kombinasi Ka_1 , b_1 , dan Ma bervariasi

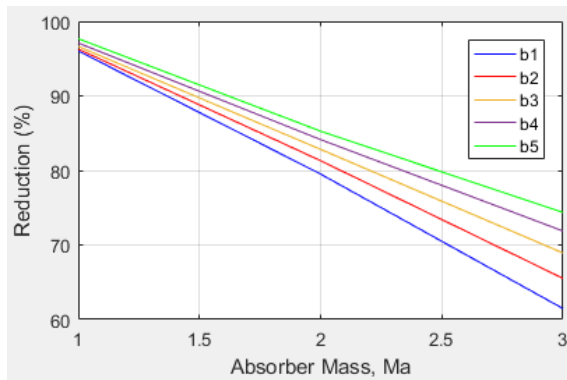
Dari simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data berupa RMS *angular acceleration* yang kemudian ditabelkan dan dibuat menjadi grafik, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana pengaruh dari variasi-variasi yang digunakan. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada proses

pengambilan data RMS digunakan variasi lima posisi DVA agar mendapatkan hasil yang lebih detail. Data-data RMS tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 4. 9 Data-data RMS *angular acceleration* dan persen reduksinya

<i>Angular Acceleration</i>					
Ka	b	Ma	sebelum	sesudah	Reduksi (%)
Ka1	b1	Ma1	38,74	1,541	96,0221992
		Ma2	38,74	7,938	79,50955085
		Ma3	38,74	14,93	61,4610222
	b2	Ma1	38,74	1,442	96,2777491
		Ma2	38,74	7,244	81,3009809
		Ma3	38,74	13,36	65,51368095
	b3	Ma1	38,74	1,306	96,62880743
		Ma2	38,74	6,655	82,82137326
		Ma3	38,74	12,04	68,92101187
	b4	Ma1	38,74	1,126	97,09344347
		Ma2	38,74	6,148	84,13009809
		Ma3	38,74	10,9	71,86370676
	b5	Ma1	38,74	0,9018	97,67217346
		Ma2	38,74	5,71	85,26071244
		Ma3	38,74	9,936	74,35209086

Tabel 4.9 di atas merupakan tabel kombinasi pegas *absorber* ($Ka1$, $Ka2$, dan $Ka3$), posisi DVA ($b1$, $b2$, $b3$, $b4$ dan $b5$), dan massa absorber yang bervariasi ($Ma1$, $Ma2$, dan $Ma3$). Dari data-data tersebut, kemudian diplot pada sebuah grafik, sehingga terlihat bagaimana pengaruh variasi nilai posisi DVA dan massa *absorber* yang terjadi ketika digunakan pada posisi DVA tertentu. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.42 di bawah.



Gambar 4. 43 Grafik persen reduksi RMS *angular acceleration* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 1

Seperti terlihat pada gambar 4.42 di atas, bahwa grafik berwarna hijau yang mewakili posisi DVA 5 ($b5$), menghasilkan reduksi yang lebih baik dibanding grafik berwarna ungu yang mewakili posisi DVA 4 ($b4$), grafik berwarna oranye yang mewakili posisi DVA 3 ($b3$), grafik berwarna merah yang mewakili posisi DVA 2 ($b2$), dan grafik berwarna biru yang mewakili posisi DVA 1 ($b1$) pada massa *absorber* 1. Setiap grafik tersebut mempunyai *trendline* yang menurun dan ketika digunakan dengan massa *absorber* 1, kemampuan meredamnya sangat maksimal dan memiliki selisih nilai antar grafik yang sedikit bahkan berhimpitan. Sedangkan ketika digunakan dengan massa *absorber* 3, selisihnya menjadi jauh. Hal tersebut

dipengaruhi oleh rasio massa dan pegas *absorber* terhadap massa dan pegas utama seperti pada pembahasan sebelumnya.

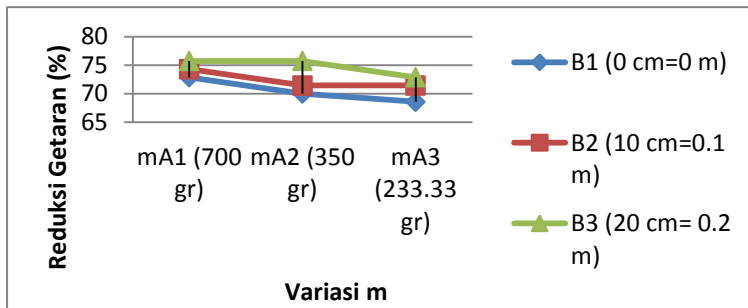
Tabel data dan gambar grafik persen reduksi RMS *angular acceleration* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 2 dan 3 tidak dicantumkan pada bagian ini, namun tertera di bagian lampiran karena sangat mirip serta memiliki analisa dan pembahasan yang sama dengan gambar grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber* 2 dan 3. Di samping itu, baik hasil, *trendline* dan penjelasannya juga sangat identik. Dari kedua pembahasan mengenai *angular displacement* dan *angular acceleration* di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai RMS dan persentase reduksi keduanya berbanding lurus. Sehingga grafik yang dihasilkan tampak mirip. Kombinasi massa *absorber* dan pegas *absorber* yang terbaik adalah kombinasi massa dan pegas *absorber* yang memiliki rasio yang sama terhadap massa dan pegas utama.

4.4 Hasil Eksperimen dan Perbandingannya dengan Simulasi

Dari penelitian dengan metode simulasi yang telah dilakukan, didapatkan data dengan analisa dan pembahasan seperti sub-bab sebelumnya. Untuk mengetahui kondisi nyata penelitian ini, maka harus dibandingkan dengan penelitian metode eksperimen pada topik yang sama. Berdasarkan penelitian dengan metode eksperimen yang telah dilakukan, didapat data-data yang kemudian dianalisa dan dibahas berdasarkan variasi yang digunakan, yaitu variasi massa, pegas, dan posisi DVA. Hasil dari analisa dengan metode eksperimen akan dibahas berdasarkan variasi yang digunakan sebagai berikut.

4.4.1 Hasil Eksperimen dengan Variasi Massa *Absorber* (Ma)

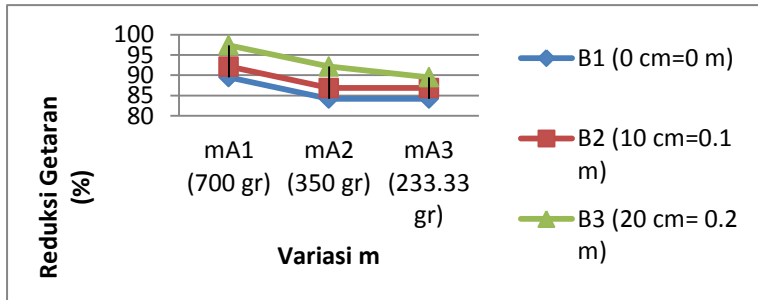
Dari penelitian dengan metode eksperimen, diperoleh hasil yang kemudian diplot menjadi grafik persen reduksi untuk getaran arah translasi sebagai berikut.



Gambar 4. 44 Grafik reduksi respon getaran translasi variasi m dengan k_1 tetap

Gambar 4.43 di atas adalah gambar grafik reduksi respon getaran arah translasi dengan variasi massa *absorber* pada tiap posisi ketika dihubungkan dengan pegas *absorber* 1. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa *trendline* yang dihasilkan sama dengan grafik yang diperoleh pada metode simulasi. Dimana nilai maksimal didapat pada kombinasi massa *absorber* 1, pegas *absorber* 1, dan posisi DVA yang terjauh dari pusat massa. Namun, nilai yang dicapai tidak sebesar nilai yang diperoleh dengan metode simulasi. Persen reduksi maksimal yang didapat pada metode eksperimen sebesar 75,71%. Hal ini dapat dimengerti mengingat metode eksperimen terdapat banyak sekali *noise* yang terjadi. Dari nilai persen reduksi yang diperoleh berdasarkan masing-masing metode, didapatkan persen *error* sebesar 23,6% pada penelitian dengan metode eksperimen.

Selain ditinjau pada arah translasi, getaran yang terjadi pada arah rotasi juga ditinjau. Dari penelitian eksperimen yang telah dilakukan, didapat data yang kemudian dianalisa dan dibahas pada penelitian eksperimen kemudian hasil tersebut



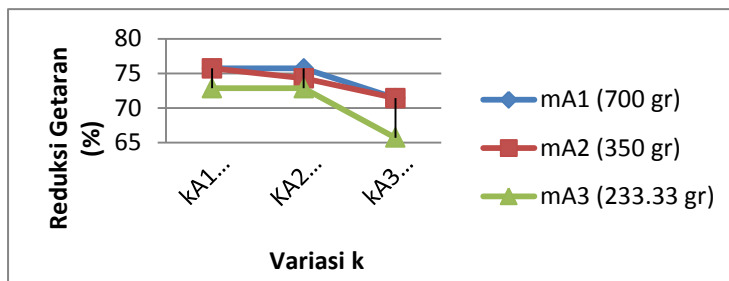
Gambar 4. 45 Grafik Reduksi Respon Getaran Angular variasi m dengan kal tetap

dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada metode simulasi. Berikut adalah hasil yang diperoleh pada penelitian dengan metode eksperimen pada arah rotasi.

Gambar 4.44 di atas adalah gambar grafik reduksi respon getaran arah rotasi dengan variasi massa *absorber* pada tiap posisi ketika dihubungkan dengan pegas *absorber* 1. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa *trendline* yang dihasilkan sama dengan grafik yang diperoleh pada metode simulasi. Dimana nilai maksimal didapat pada kombinasi massa *absorber* 1, pegas *absorber* 1, dan posisi DVA yang terjauh dari pusat massa. Namun, nilai yang dicapai tidak sebesar nilai yang diperoleh dengan metode simulasi. Persen reduksi optimal yang didapat pada metode eksperimen sebesar 97,36%. Hal ini dapat dimengerti mengingat metode eksperimen terdapat banyak sekali *noise* yang terjadi. Dari nilai persen reduksi yang diperoleh berdasarkan masing-masing metode, didapatkan persen *error* sebesar 0,32% pada penelitian dengan metode eksperimen.

4.4.2 Hasil Eksperimen dengan Variasi Koefisien Pegas Absorber (K_a)

Dari penelitian dengan metode eksperimen, diperoleh hasil yang kemudian diplot menjadi grafik persen reduksi untuk getaran arah translasi sebagai berikut.

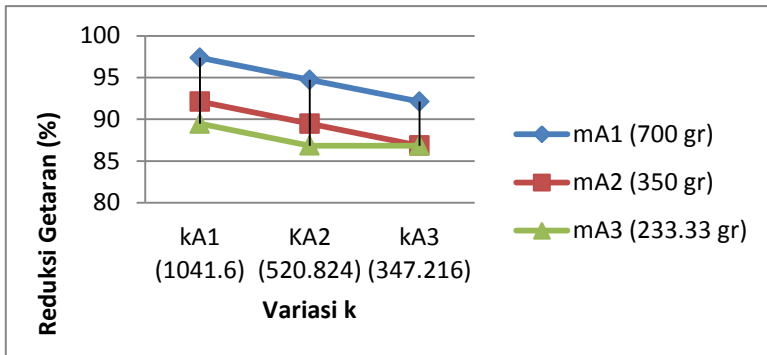


Gambar 4. 46 Grafik Reduksi Respon Getaran Translasi Variasi k dengan b_3 tetap

Gambar 4.45 di atas adalah gambar grafik reduksi respon getaran arah translasi dengan variasi koefisien pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* ketika dihubungkan dengan posisi DVA yang terjauh. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa *trendline* yang dihasilkan sama dengan grafik yang diperoleh pada metode simulasi. Dimana nilai maksimal didapat pada kombinasi massa *absorber* 1, pegas *absorber* 1, dan posisi DVA yang terjauh dari pusat massa. Namun, nilai yang dicapai tidak sebesar nilai yang diperoleh dengan metode simulasi. Persen reduksi maksimal yang didapat pada metode eksperimen sebesar 75,71%. Hal ini dapat dimengerti mengingat metode eksperimen terdapat banyak sekali *noise* yang terjadi. Dari nilai persen reduksi yang diperoleh berdasarkan masing-masing metode, didapatkan persen *error* sebesar 23,6% pada penelitian dengan metode eksperimen.

Selain ditinjau pada arah translasi, getaran yang terjadi pada arah rotasi juga ditinjau. Dari penelitian eksperimen yang

telah dilakukan, didapat data yang kemudian dianalisa dan dibahas pada penelitian eksperimen kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada metode simulasi. Berikut adalah hasil yang diperoleh pada penelitian dengan metode eksperimen pada arah rotasi.

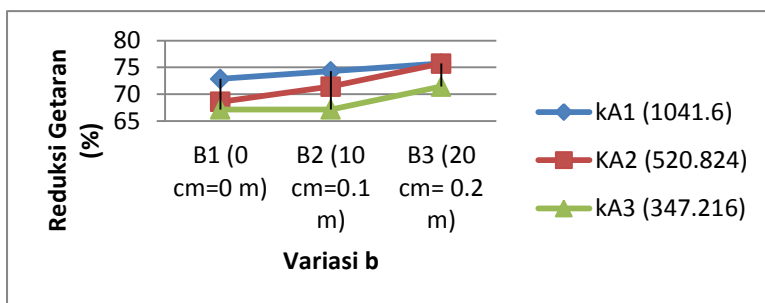


Gambar 4. 47 Grafik Reduksi Respon Getaran Angular variasi k dengan B3 tetap

Gambar 4.46 di atas adalah gambar grafik reduksi respon getaran arah rotasi dengan variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* ketika dihubungkan dengan posisi DVA 3. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa *trendline* yang dihasilkan sama dengan grafik yang diperoleh pada metode simulasi. Dimana nilai maksimal didapat pada kombinasi massa *absorber* 1, pegas *absorber* 1, dan posisi DVA yang terjauh dari pusat massa. Namun, nilai yang dicapai tidak sebesar nilai yang diperoleh dengan metode simulasi. Persen reduksi optimal yang didapat pada metode eksperimen sebesar 97,36%. Hal ini dapat dimengerti mengingat metode eksperimen terdapat banyak sekali *noise* yang terjadi. Dari nilai persen reduksi yang diperoleh berdasarkan masing-masing metode, didapatkan persen *error* sebesar 0,32% pada penelitian dengan metode eksperimen.

4.4.3 Hasil Eksperimen dengan Variasi Posisi DVA (b)

Dari penelitian dengan metode eksperimen, diperoleh hasil yang kemudian diplot menjadi grafik persen reduksi untuk getaran arah translasi sebagai berikut.

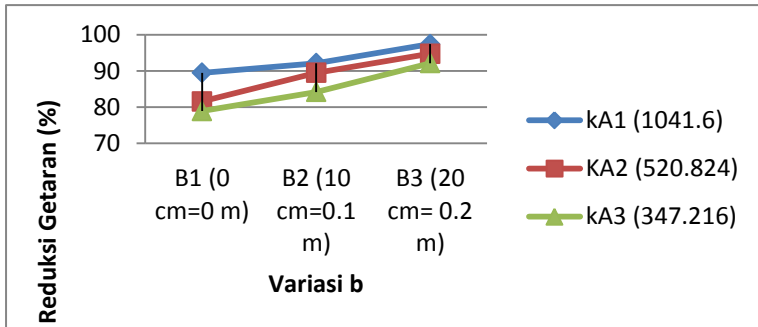


Gambar 4. 48 Grafik Reduksi Respon Getaran Translasi variasi b dengan m_1 tetap

Gambar 4.47 di atas adalah gambar grafik reduksi respon getaran arah translasi dengan variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* ketika dihubungkan dengan massa *absorber* 1. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa *trendline* yang dihasilkan sama dengan grafik yang diperoleh pada metode simulasi. Dimana nilai maksimal didapat pada kombinasi massa *absorber* 1, pegas *absorber* 1, dan posisi DVA yang terjauh dari pusat massa. Namun, nilai yang dicapai tidak sebesar nilai yang diperoleh dengan metode simulasi. Persen reduksi maksimal yang didapat pada metode eksperimen sebesar 75,71%. Hal ini dapat dimengerti mengingat metode eksperimen terdapat banyak sekali *noise* yang terjadi. Dari nilai persen reduksi yang diperoleh berdasarkan masing-masing metode, didapatkan persen *error* sebesar 23,6% pada penelitian dengan metode eksperimen.

Selain ditinjau pada arah translasi, getaran yang terjadi pada arah rotasi juga ditinjau. Dari penelitian eksperimen yang telah dilakukan, didapat data yang kemudian dianalisa dan

dibahas pada penelitian eksperimen kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada metode simulasi. Berikut adalah hasil yang diperoleh pada penelitian dengan metode eksperimen pada arah rotasi.



Gambar 4. 49 Grafik Reduksi Respon Getaran Angular variasi b dengan m_{a1} tetap

Gambar 4.48 di atas adalah gambar grafik reduksi respon getaran arah rotasi dengan variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* ketika dihubungkan dengan massa *absorber* 1. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa *trendline* yang dihasilkan sama dengan grafik yang diperoleh pada metode simulasi. Dimana nilai maksimal didapat pada kombinasi massa *absorber* 1, pegas *absorber* 1, dan posisi DVA yang terjauh dari pusat massa. Namun, nilai yang dicapai tidak sebesar nilai yang diperoleh dengan metode simulasi. Persen reduksi optimal yang didapat pada metode eksperimen sebesar 97,36%. Hal ini dapat dimengerti mengingat metode eksperimen terdapat banyak sekali *noise* yang terjadi. Dari nilai persen reduksi yang diperoleh berdasarkan masing-masing metode, didapatkan persen *error* sebesar 0,32% pada penelitian dengan metode eksperimen.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dimodelkan rancangan sistem utama sebagai simulator getaran dengan dimensi 50x50x80 cm. Getaran yang terjadi pada sistem utama terjadi pada arah translasi dan rotasi, akibat perbedaan nilai koefisien pegas ekivalen kiri dan kanan yang menumpu massa utama.
2. Telah dimodelkan rancangan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA) dengan model *beam* yang mampu mereduksi getaran arah translasi dan rotasi yang terjadi pada masa utama
3. Didapatkan bahwa rasio massa *absorber* terhadap massa utama yang relatif mampu mereduksi getaran baik arah translasi maupun rotasi berdasarkan penelitian ini adalah 1 : 10. Semakin kecil massa *absorber*, maka semakin kecil pula kemampuannya dalam mereduksi getaran yang terjadi.
4. Didapatkan bahwa rasio koefisien pegas *absorber* terhadap pegas utama yang relatif mampu mereduksi getaran baik arah translasi dan rotasi berdasarkan penelitian ini adalah 1 : 10. Semakin kecil nilai koefisien pegas *absorber*, maka semakin kecil pula kemampuannya dalam mereduksi getaran yang terjadi.
5. Didapatkan bahwa letak posisi DVA yang relatif mampu mereduksi getaran baik arah translasi dan rotasi berdasarkan penelitian ini adalah yang terjauh dari pusat massa sistem utama.
6. Didapatkan bahwa kombinasi massa *absorber*, koefisien pegas *absorber*, dan letak posisi DVA yang dapat mereduksi paling maksimal pada arah translasi berdasarkan penelitian ini adalah

massa *absorber* dengan nilai yang paling besar (Ma_1), koefisien pegas *absorber* dengan nilai yang paling besar (Ka_1), dan letak posisi DVA yang terjauh dari pusat massa sistem utama. Hal itu terbukti dengan nilai reduksi yang mencapai 99,1% pada RMS *displacement* dan *acceleration* saat frekuensi natural sistem 36,7 rad/s dan amplitudo 0,03 m.

7. Didapatkan bahwa kombinasi massa *absorber*, koefisien pegas *absorber*, dan letak posisi DVA yang dapat mereduksi paling maksimal pada arah rotasi berdasarkan penelitian ini adalah massa *absorber* dengan nilai yang paling besar (Ma_1), koefisien pegas *absorber* dengan nilai yang paling besar (Ka_1), dan letak posisi DVA yang terjauh dari pusat massa sistem utama. Hal itu terbukti dengan nilai reduksi yang mencapai 97,6% pada RMS *angular displacement* dan *angular acceleration* saat frekuensi natural sistem 36,7 rad/s dan amplitudo 0,03 m.
8. Didapatkan bahwa kombinasi massa *absorber*, koefisien pegas *absorber*, dan letak posisi DVA yang dapat mereduksi paling optimal pada arah translasi dan rotasi berdasarkan penelitian ini adalah massa *absorber* dengan nilai yang paling besar (Ma_1), koefisien pegas *absorber* dengan nilai yang paling besar (Ka_1), dan letak posisi DVA yang terjauh dari pusat massa sistem utama.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, disarankan untuk tidak mengoperasikan sistem pada frekuensi natural yang baru (frekuensi natural sistem yang telah diberi DVA), karena akan menyebabkan fenomena resonansi, yang mana

terjadi getaran yang hebat, sehingga fungsi dari DVA itu sendiri menjadi tidak maksimal.

2. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, semakin besar rasio massa dan pegas *absorber* terhadap massa dan pegas utama, maka reduksi yang dihasilkan akan semakin besar dan lebih bermanfaat. Alangkah lebih baik bila rasio massa dan pegas *absorber* terhadap massa dan pegas utama dilakukan penelitian lebih mendalam dengan nilai yang lebih besar dari penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitri, Yudhkarisma dan Yerri. 2013. **Simulasi Peredaman Getaran Mesin Rotasi Menggunakan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA)**. Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [2] Lostari, Aini. 2015. **Studi Perbandingan Pengaruh SDVA (*Single Dynamic Vibration Absorber*) dan DDVA (*Dual Dynamic Vibration Absorber*)**. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3] Kusumadewayanti, Esthi. 2015. **Studi Pengaruh Massa Dan Perubahan Lengan Momen *Dual Dynamic Vibration Absorber* (DVA)-*Independent* Terhadap Respon Getaran Sistem Utama 2-DoF**. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [4] Pachpute, A. Z. 2016. ***Optimum Design of Damped Dynamic Vibration Absorber – A Simulation Approach***. Late G.N.Sapkal College of Engineering, India.
- [5] Daman, Aida Annisa Amin. 2016. ***The Influence of Dynamic Vibration Absorber to Reduce the Vibration of Main System with 2-DoF***. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] Rao, Singiresu S. 2011. ***Mechanical Vibration Fifth Edition***. Amerika: Prentice Hall.
- [7] Efendy, Wahyu Rachma. 2016. **Pemodelan Dan Analisa Reduksi Respon Getaran Translasi Pada Sistem Utama Dan Energi Listrik Yang Dihasilkan Oleh Mekanisme *Dynamic Vibration Absorber* Metode Cantilever Piezoelectric (CPVA)**. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Tabel 1 Tabel frekuensi natural Variasi Posisi DVA ($\mathbf{M_a}$ dan $\mathbf{k_a}$ tetap)

Kombinasi			ω_{n1}	ω_{n2}	ω_{n3}	ω_{n4}
Ma1	Ka1	b1	32,1061	38,5746	44,1166	68,0596
		b2	31,308	38,5746	45,0551	68,3408
		b3	30,3373	38,5746	45,2845	70,1702
	Ka2	b1	25,9447	27,2764	38,6322	68,0089
		b2	25,5539	27,2764	39,1607	68,1171
		b3	24,9888	27,2764	39,6254	68,8406
	Ka3	b1	21,6914	22,2711	37,7349	67,9967
		b2	21,4961	22,2711	38,0402	68,0636
		b3	21,1843	22,2711	38,3474	68,5122
Ma2	Ka1	b1	35,3409	54,5527	56,61	68,1434
		b2	34,9194	54,5527	56,8286	68,7005
		b3	34,4139	54,5527	55,1852	71,7855
	Ka2	b1	33,5936	38,5746	42,1897	68,0168
		b2	33,0094	38,5746	42,8514	68,1516
		b3	32,3249	38,5746	43,1932	69,0441
	Ka3	b1	29,9661	31,496	38,6276	67,9995
		b2	29,5653	31,496	39,1074	68,0757
		b3	29,0361	31,496	39,5241	68,5855
Ma3	Ka1	b1	35,9684	66,8119	66,8179	69,4857
		b2	35,7153	65,6524	66,8179	71,214
		b3	35,4145	62,1656	66,8179	75,847
	Ka2	b1	35,4925	47,2474	48,9013	68,0298
		b2	35,1276	47,2474	49,2799	68,2082
		b3	34,6993	47,2474	49,0573	69,3635
	Ka3	b1	34,2697	38,5774	41,3685	68,0032
		b2	33,7888	38,5774	41,9027	68,0917
		b3	33,2369	38,5774	42,2329	68,6813

Tabel 2 Tabel frekuensi natural Variasi Pegas DVA (b dan M_a tetap)

Kombinasi			ω_{n1}	ω_{n2}	ω_{n3}	ω_{n4}
b1	Ma1	Ka1	32,1061	38,5746	44,1166	68,0596
		Ka2	25,9447	27,2764	38,6322	68,0089
		Ka3	21,6914	22,2711	37,7349	67,9967
	Ma2	Ka1	35,3409	54,5527	56,61	68,1434
		Ka2	33,5936	38,5746	42,1897	68,0168
		Ka3	29,9661	31,496	38,6276	67,9995
	Ma3	Ka1	35,9684	66,8119	66,8179	69,4857
		Ka2	35,4925	47,2474	48,9013	68,0298
		Ka3	34,2697	38,5774	41,3685	68,0032
b2	Ma1	Ka1	31,308	38,5746	45,0551	68,3408
		Ka2	25,5539	27,2764	39,1607	68,1171
		Ka3	21,4961	22,2711	38,0402	68,0636
	Ma2	Ka1	34,9194	54,5527	56,8286	68,7005
		Ka2	33,0094	38,5746	42,8514	68,1516
		Ka3	29,5653	31,496	39,1074	68,0757
	Ma3	Ka1	35,7153	65,6524	66,8179	71,214
		Ka2	35,1276	47,2474	49,2799	68,2082
		Ka3	33,7888	38,5774	41,9027	68,0917
b3	Ma1	Ka1	30,3373	38,5746	45,2845	70,1702
		Ka2	24,9888	27,2764	39,6254	68,8406
		Ka3	21,1843	22,2711	38,3474	68,5122
	Ma2	Ka1	34,4139	54,5527	55,1852	71,7855
		Ka2	32,3249	38,5746	43,1932	69,0441
		Ka3	29,0361	31,496	39,5241	68,5855
	Ma3	Ka1	35,4145	62,1656	66,8179	75,847
		Ka2	34,6993	47,2474	49,0573	69,3635
		Ka3	33,2369	38,5774	42,2329	68,6813

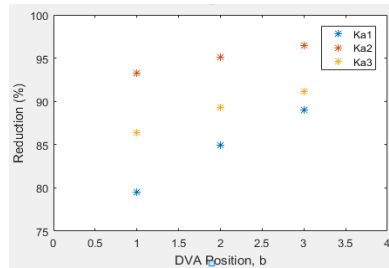
Tabel 3 frekuensi natural Variasi Massa DVA (k_a dan b tetap)

Kombinasi			ω_{n1}	ω_{n2}	ω_{n3}	ω_{n4}
Ka1	b1	Ma1	32,1061	38,5746	44,1166	68,0596
		Ma2	35,3409	54,5527	56,61	68,1434
		Ma3	35,9684	66,8119	66,8179	69,4857
	b2	Ma1	31,308	38,5746	45,0551	68,3408
		Ma2	34,9194	54,5527	56,8286	68,7005
		Ma3	35,7153	65,6524	66,8179	71,214
	b3	Ma1	30,3373	38,5746	45,2845	70,1702
		Ma2	34,4139	54,5527	55,1852	71,7855
		Ma3	35,4145	62,1656	66,8179	75,847
Ka2	b1	Ma1	25,9447	27,2764	38,6322	68,0089
		Ma2	33,5936	38,5746	42,1897	68,0168
		Ma3	35,4925	47,2474	48,9013	68,0298
	b2	Ma1	25,5539	27,2764	39,1607	68,1171
		Ma2	33,0094	38,5746	42,8514	68,1516
		Ma3	35,1276	47,2474	49,2799	68,2082
	b3	Ma1	24,9888	27,2764	39,6254	68,8406
		Ma2	32,3249	38,5746	43,1932	69,0441
		Ma3	34,6993	47,2474	49,0573	69,3635
Ka3	b1	Ma1	21,6914	22,2711	37,7349	67,9967
		Ma2	29,9661	31,496	38,6276	67,9995
		Ma3	34,2697	38,5774	41,3685	68,0032
	b2	Ma1	21,4961	22,2711	38,0402	68,0636
		Ma2	29,5653	31,496	39,1074	68,0757
		Ma3	33,7888	38,5774	41,9027	68,0917
	b3	Ma1	21,1843	22,2711	38,3474	68,5122
		Ma2	29,0361	31,496	39,5241	68,5855
		Ma3	33,2369	38,5774	42,2329	68,6813

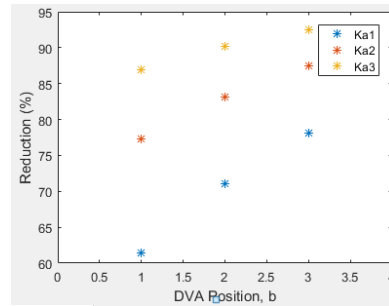
Tabel 4 Data RMS *displacement* dan persen reduksinya (variasi posisi DVA, b)

Displacement					
Ma	Ka	B	sebelum	sesudah	Reduksi (%)
Ma1	Ka1	b1	0,01848	0,0004323	97,66071429
		b2	0,01848	0,0003619	98,04166667
		b3	0,01848	0,0002871	98,44642857
		b4	0,01848	0,0002169	98,8262987
		b5	0,01848	0,000165	99,10714286
	Ka2	b1	0,01848	0,002524	86,34199134
		b2	0,01848	0,002213	88,02489177
		b3	0,01848	0,001977	89,30194805
		b4	0,01848	0,0018	90,25974026
		b5	0,01848	0,001666	90,98484848
	Ka3	b1	0,01848	0,004713	74,49675325
		b2	0,01848	0,004177	77,39718615
		b3	0,01848	0,003742	79,75108225
		b4	0,01848	0,003387	81,67207792
		b5	0,01848	0,003097	83,24134199
Ma2	Ka1	b1	0,01848	0,003794	79,46969697
		b2	0,01848	0,003251	82,40800866
		b3	0,01848	0,002787	84,91883117
		b4	0,01848	0,002386	87,08874459
		b5	0,01848	0,002037	88,97727273
	Ka2	b1	0,01848	0,00124	93,29004329
		b2	0,01848	0,001066	94,23160173
		b3	0,01848	0,0009088	95,08225108
		b4	0,01848	0,0007698	95,83441558

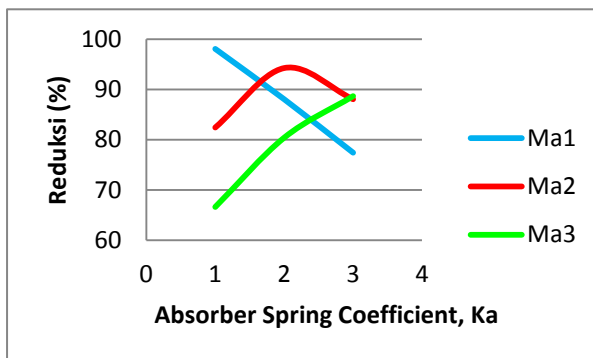
Ma3	Ka3	b5	0,01848	0,0006491	96,48755411
		b1	0,01848	0,002515	86,39069264
		b2	0,01848	0,002212	88,03030303
		b3	0,01848	0,001974	89,31818182
		b4	0,01848	0,001788	90,32467532
		b5	0,01848	0,001642	91,11471861
	Ka1	b1	0,01848	0,007131	61,41233766
		b2	0,01848	0,006172	66,6017316
		b3	0,01848	0,005354	71,02813853
		b4	0,01848	0,004653	74,82142857
		b5	0,01848	0,004049	78,08982684
	Ka2	b1	0,01848	0,004202	77,26190476
		b2	0,01848	0,003625	80,38419913
		b3	0,01848	0,00313	83,06277056
		b4	0,01848	0,002701	85,38419913
		b5	0,01848	0,002327	87,40800866
	Ka3	b1	0,01848	0,002414	86,93722944
		b2	0,01848	0,002098	88,64718615
		b3	0,01848	0,001823	90,13528139
		b4	0,01848	0,001586	91,41774892
		b5	0,01848	0,00138	92,53246753



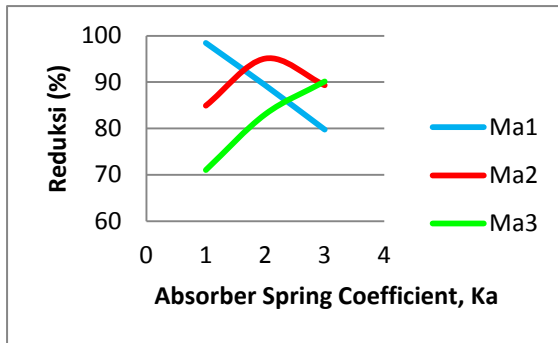
Gambar 1 Grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* di massa *absorber* 2



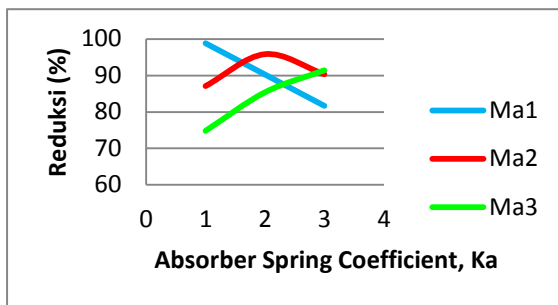
Gambar 2 Grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* di massa *absorber* 3



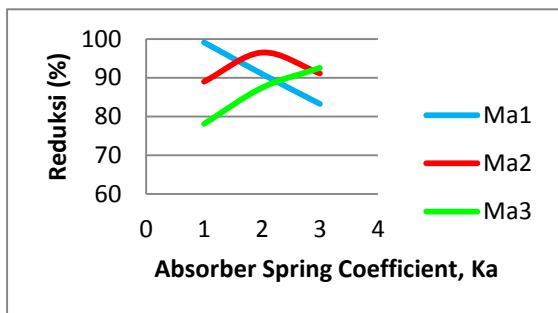
Gambar 3 Grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* di posisi DVA 2



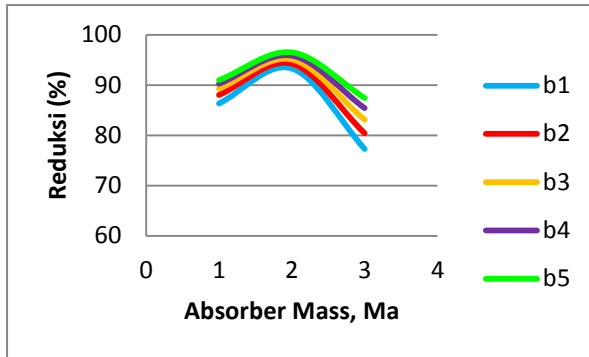
Gambar 4 persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* di posisi DVA 3



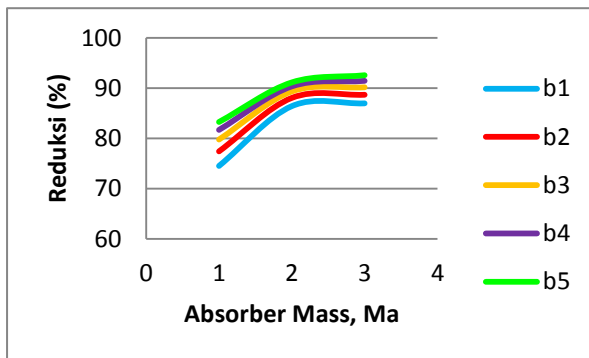
Gambar 5 persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* di posisi DVA 4



Gambar 6 persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* di posisi DVA 5



Gambar 7 grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber 2*

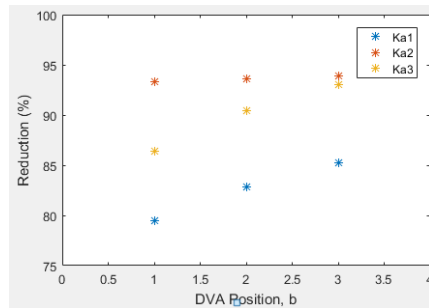


Gambar 8 grafik persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber 3*

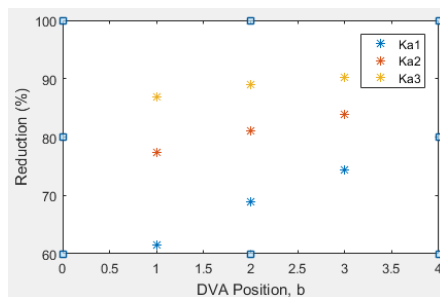
Tabel 5 Tabel Data RMS *angular displacement* dan persen reduksinya

Angular Displacement					
Ma	Ka	b	sebelum	sesudah	Reduksi (%)
Ma1	Ka1	b1	0,02877	0,001148	96,00973236
		b2	0,02877	0,001074	96,26694473
		b3	0,02877	0,0009731	96,61765728
		b4	0,02877	0,0008385	97,08550574
		b5	0,02877	0,0006713	97,66666667
	Ka2	b1	0,02877	0,003931	86,33646159
		b2	0,02877	0,003169	88,98505388
		b3	0,02877	0,002561	91,09836635
		b4	0,02877	0,002074	92,79110184
		b5	0,02877	0,00168	94,16058394
	Ka3	b1	0,02877	0,007338	74,49426486
		b2	0,02877	0,006251	78,27250608
		b3	0,02877	0,005346	81,4181439
		b4	0,02877	0,004589	84,04935697
		b5	0,02877	0,003952	86,26346889
Ma2	Ka1	b1	0,02877	0,005902	79,48557525
		b2	0,02877	0,005387	81,27563434
		b3	0,02877	0,004949	82,79805353
		b4	0,02877	0,004573	84,10497046
		b5	0,02877	0,004247	85,23809524
	Ka2	b1	0,02877	0,00193	93,29162322
		b2	0,02877	0,001871	93,49669795
		b3	0,02877	0,001828	93,64615919
		b4	0,02877	0,001792	93,77128954

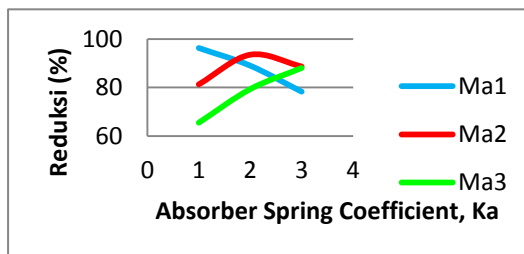
Ma3	Ka3	b5	0,02877	0,001759	93,88599235
		b1	0,02877	0,003916	86,38859924
		b2	0,02877	0,003267	88,64442127
		b3	0,02877	0,002751	90,4379562
		b4	0,02877	0,002339	91,87000348
		b5	0,02877	0,00201	93,01355579
	Ka1	b1	0,02877	0,0111	61,4181439
		b2	0,02877	0,009933	65,47445255
		b3	0,02877	0,008946	68,90510949
		b4	0,02877	0,008105	71,82829336
		b5	0,02877	0,007386	74,3274244
	Ka2	b1	0,02877	0,00654	77,26798749
		b2	0,02877	0,005952	79,31178311
		b3	0,02877	0,005452	81,04970455
		b4	0,02877	0,005023	82,54084115
		b5	0,02877	0,004651	83,83385471
	Ka3	b1	0,02877	0,003757	86,94125826
		b2	0,02877	0,003446	88,02224539
		b3	0,02877	0,003187	88,9224887
		b4	0,02877	0,002972	89,66979493
		b5	0,02877	0,00279	90,30239833



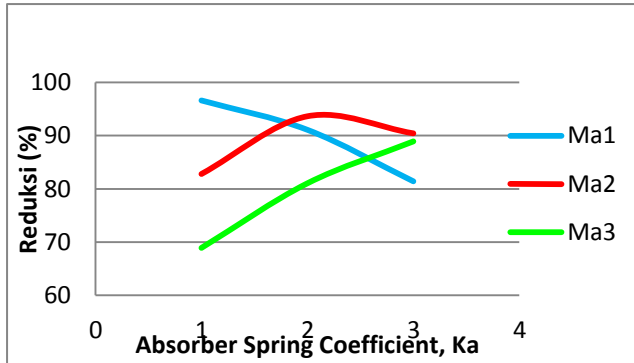
Gambar 9 Grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* di massa *absorber 2*



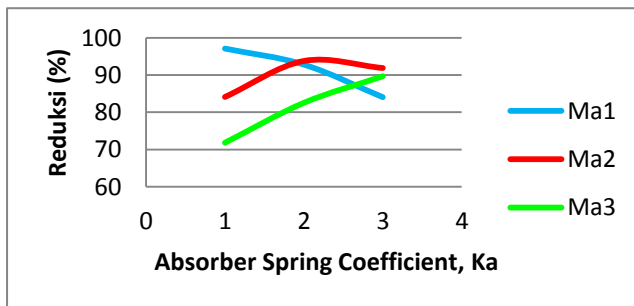
Gambar 10 Grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi posisi DVA pada tiap pegas *absorber* di massa *absorber 3*



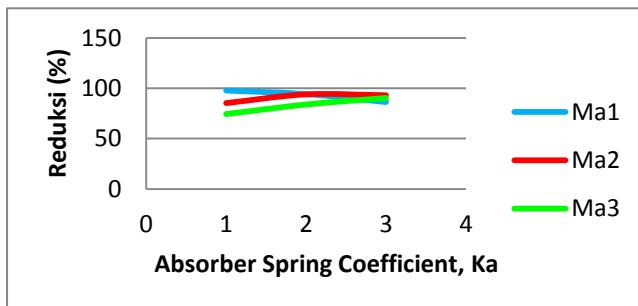
Gambar 11 persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* di posisi DVA 2



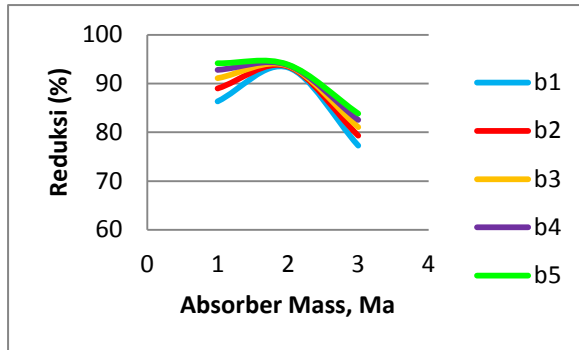
Gambar 12 persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* di posisi DVA 3



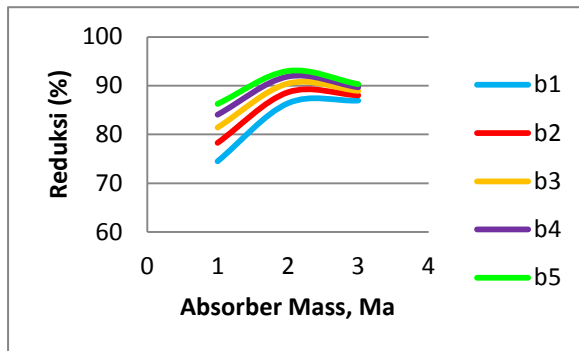
Gambar 13 persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* di posisi DVA 4



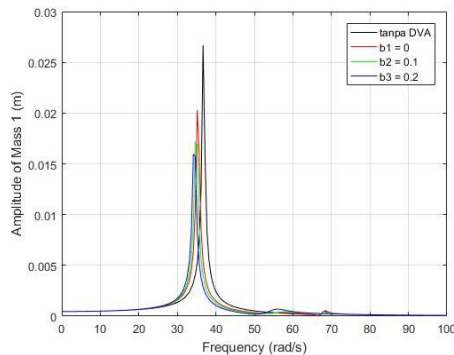
Gambar 14 persen reduksi RMS *displacement* terhadap variasi pegas *absorber* pada tiap massa *absorber* di posisi DVA 4



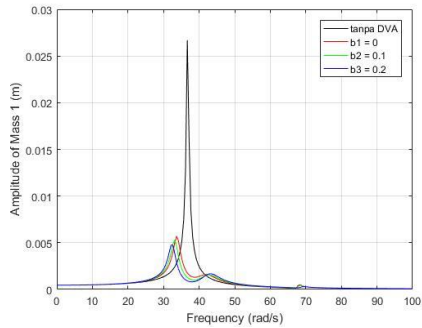
Gambar 15 grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber 2*



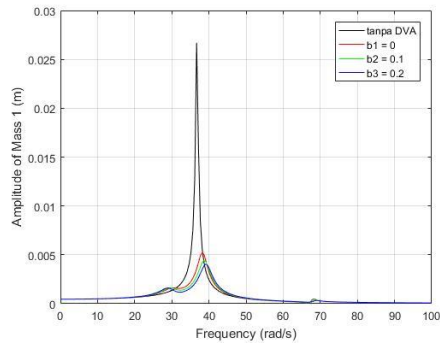
Gambar 16 grafik persen reduksi RMS *angular displacement* terhadap variasi massa *absorber* pada tiap posisi DVA di pegas *absorber 3*



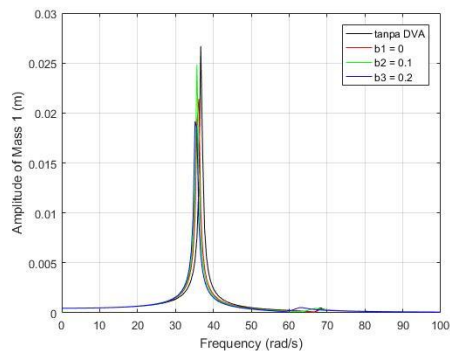
Gambar 17 bode diagram dengan kombinasi Ma_2 , Ka_1 , dan b bervariasi



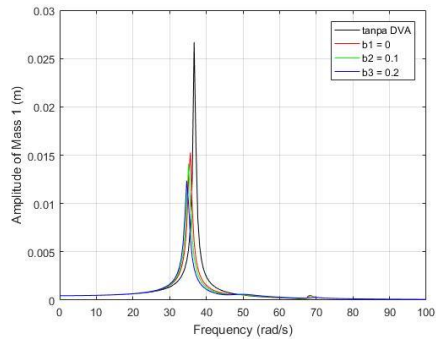
Gambar 18 bode diagram dengan kombinasi Ma2, Ka2, dan b bervariasi



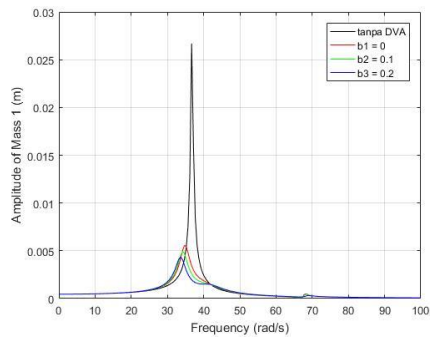
Gambar 19 bode diagram dengan kombinasi Ma2, Ka3, dan b bervariasi



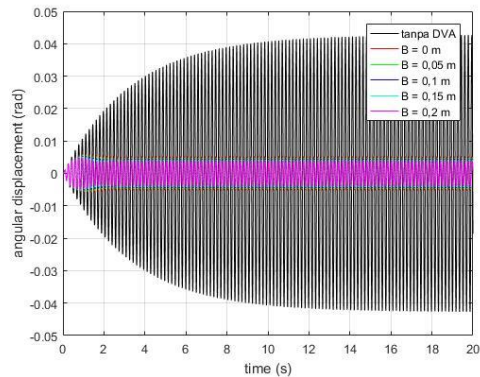
Gambar 20 bode diagram dengan kombinasi Ma3, Ka1, dan b bervariasi



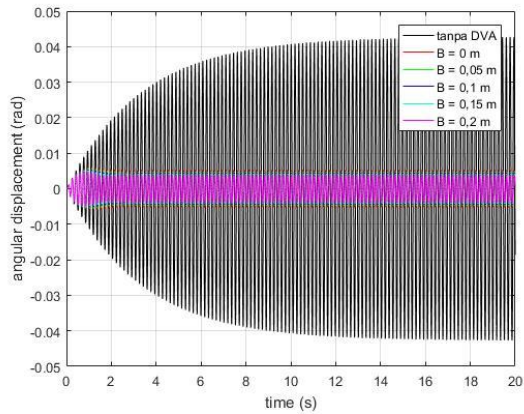
Gambar 21 *bode diagram* dengan kombinasi Ma3, Ka2, dan b bervariasi



Gambar 22 *bode diagram* dengan kombinasi Ma3, Ka3, dan b bervariasi



Gambar 23 respon *angular displacement* dengan kombinasi Ma1, Ka2, dan b bervariasi



Gambar 24 respon *angular displacement* dengan kombinasi Ma_1 , Ka_2 , dan b bervariasi

BIODATA PENULIS



Vincent dilahirkan di Bekasi, 13 Maret 1995. Menyelesaikan program studi pada Departemen S-1 Teknik Mesin, FTI, ITS pada tahun 2017. Penulis menempuh pendidikan Tingkat Dasar sampai Sekolah Menengah Pertama di Marsudirini, Bekasi, kemudian melanjutkan pendidikan jenjang Sekolah Menengah Atas di Penabur 7, Cipinang, Jakarta Timur. Terlahir dari pasangan orang tua Franciscus Budjit dan Prita Indriani

Djauhari, serta memiliki dua kakak kandung yang bernama Donny Lukmanto dan Ryan Gustomo.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Penulis pernah menjadi grader mata kuliah mekanika pada tahun 2016-2017 serta asisten Lab. Vibrasi dan Sistem Dinamis. Dalam kegiatan organisasi, penulis aktif menjadi staff departemen dalam negeri di Keluarga Mahasiswa Katolik ITS pada tahun 2014-2015 dan menjadi kepala departemen internal di organisasi yang sama pada tahun 2015-2016.

Penulis bercita-cita menjadi seorang pengusaha sukses yang dapat memberikan kesempatan bagi masyarakat dalam penyediaan pekerjaan. Untuk menghubungi penulis dalam rangka pemenuhan kritik dan saran dari pembaca, dapat dilakukan melalui email ic.vincent95@gmail.com. Penulis sangat terbuka dalam segala hal untuk berdiskusi mengenai isi dari buku ini, maupun hal lainnya.